

Às minhas Irmãs

À minha Mãe

Ao meu Namorado

.... e ao meu Pai, que sei que esteve sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho é fruto de um processo que exigiu alguns sacrifícios, muita força de vontade e essencialmente perseverança. A sua concretização só foi possível com a ajuda de algumas Pessoas e Instituições a quem desejo apresentar os meus mais sinceros agradecimentos. OBRIGADA por terem tornado este caminho sinuoso num percurso mais fácil.

Ao Professor Doutor Alberto da Silva Lima, meu orientador, manifesto o agradecimento pelo seu contributo no decurso deste mestrado, a sua disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas e discussão do tema.

Ao Aterro Sanitário da Braval, por toda a amável colaboração prestada e sem a qual este trabalho não teria sido realizado. Em particular ao Sr. Hilário e à Eng.^a Gabriela pela paciência, dedicação, simpatia e carinho prestados e por toda a bibliografia cedida.

À Doutora Lúcia Guise, Técnica do Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, exprimo o meu reconhecimento por todo o trabalho desenvolvido no âmbito deste projecto.

Aos habitantes das povoações de Paço e da Quintã, localizadas junto das Lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso, respectivamente, sem as quais não teria sido possível efectuar os trabalhos de campo, essenciais para o desenvolvimento da presente dissertação. Gostaria de registar a sua simpatia e a confiança demonstrada.

À minha FAMÍLIA, por me ter incentivado neste percurso e ter compreendido todas as minhas ausências e faltas de dedicação. Às minhas IRMÃS, que se revelaram fortes e lutadoras perante todas as adversidades da Vida. Continuaremos sempre unidas. ADORO-VOS.

A todos os meus AMIGOS, que embora geograficamente distantes, se revelaram sempre presentes. Em particular à Carolina por todo o apoio, companheirismo, dedicação e carinho demonstrados, quer nos momentos bons, quer nos menos bons.

Ao meu NAMORADO, pela força transmitida, pela paciência e pelo Amor demonstrado em todo o caminho que já percorremos juntos. Agradecer-te não é um gesto que se põe em papel, mas algo que se partilha ao longo da vida. No entanto OBRIGADA.

EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA EM ÁREAS ADJACENTES A LOCAIS DE DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Indispensável à VIDA, a ÁGUA, recurso cada vez mais escasso e por isso tão valioso, será mais uma vez razão para a realização de uma tese.

O objectivo primordial deste trabalho é averiguar o impacto ambiental dos depósitos de resíduos sólidos nas águas subterrâneas.

Utilizou-se como suporte de trabalho um aterro sanitário em pleno funcionamento e duas lixeiras encerradas há sensivelmente quatro anos, aquando da realização do presente trabalho, todos localizados entre os concelhos de Braga e Póvoa de Lanhoso.

Em termos geológicos o aterro sanitário assenta sobre granitóides tardi-F₃ e tardi a pós-F₃, respectivamente, Granito de Braga (*Ymfπ*) e Granito de Briteiros (*Yf*). A Lixeira de Braga, por sua vez, encontra-se inserida numa ampla mancha metassedimentar constituída essencialmente por xistos argilosos, quartzofilitos, micaxistos e quartzitos. A Lixeira da Póvoa de Lanhoso, tal como o aterro sanitário, também se encontra instalada numa região de granitóides tardi-F₃ – Granito de Agrela (*Yπm*).

Nestas três áreas de estudo foi inventariado um total de 32 pontos de água (11 no Aterro Sanitário, 9 na Lixeira de Braga e 12 na Lixeira da Póvoa de Lanhoso) com vista a analisar a sua evolução hidroquímica. Para tal, foram registados ao longo de dez meses, aproximadamente, os valores da temperatura, condutividade eléctrica, pH e Eh das suas águas e efectuaram-se três campanhas de recolha de amostras para análise laboratorial.

Em termos de resultados, podemos afirmar que no Aterro Sanitário da Braval, no momento deste estudo, foram detectados alguns indícios de degradação química das águas na sua vertente Sul. No entanto, os dados obtidos não nos permitiram relacionar a evolução hidroquímica verificada com a presença da célula de deposição de resíduos, dada a presença de outras estruturas no interior do aterro, como as lagoas de armazenamento e tratamento de lixiviado, capazes de influenciar a composição química das águas. Por sua vez, as Lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso revelaram uma evolução hidroquímica ainda pouco estabilizada, apresentando as águas analisadas uma composição bastante relacionada com os processos de decomposição de resíduos que ocorrem nesses locais. Contudo, em alguns pontos, foi difícil separar uma possível contaminação com origem nas lixeiras de uma possível degradação provocada pelas actividades agrícolas ou agro-pecuárias.

Palavras-chave: Aterro Sanitário, Lixeira, Evolução Hidroquímica, Água Subterrânea

HYDROCHEMISTRY EVOLUTION IN NEIGHBOURING AREAS OF LANDFILLS

Indispensable to LIFE, the WATER, a scarcer and valuable resource, will be once more the reason for a thesis.

The main point of this work is to inquire the environmental impact of solid wastes deposits in groundwater.

At the time of this research, we used, as a work support, an active landfill and two areas of uncontrolled refuse of wastes closed for four years, approximately, all them located between Braga and Póvoa de Lanhoso counties.

In geological terms two granites post-orogenic support the landfill: the Braga Granite ($Ymf\pi$) and the Briteiros Granite (Yf). The Braga deposit of solid refuses, by its turn, is funded set in a large metasedimentary rock and the Póvoa de Lanhoso deposit of solid refuse, just like the landfill, is also set in a region of granites – Agrela Granite ($Y\pi m$).

In this three areas of study we had been doing an inventory in a total of 32 water points (11 in the landfill, 9 in Braga deposit of solid refuses and 12 in Póvoa de Lanhoso deposit of solid refuses) with the purpose of analyse its hydrochemistry evolution. It had been registering approximately for ten months, the temperature values, electric conductivity, pH and Eh of its waters and we had made three sample gathering in the field to laboratorial analyses.

From the results, we can affirm that in the landfill, at the moment of this study, we had detected some signs of chemistry degradation in south waters. However, the results obtained didn't allow us to relate the hydrochemistry evolution observed with the waste deposition cell, due to the presence of other structures inside of the landfill, such as storage and treatment of leachate lagoons, capable to influence the water chemistry. By its turn, the Braga and Póvoa de Lanhoso deposits of solids refuses revelled a lower stabilized hydrochemistry evolution, showing the contaminated waters a composition nearly related with decomposed wastes processes that occur in these places. Nevertheless, in some points, it was difficult to separate a possible contamination with its origin in deposits of solid refuses from a possible degradation due by agriculture on cattle raising activities.

Key-words: Landfill, Deposits of solid refuses, Hydrochemistry Evolution, Groundwater

ÍNDICE

| | <i>Páginas</i> |
|---|----------------|
| DEDICATÓRIA | ii |
| AGRADECIMENTOS | iii |
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| ÍNDICE | vi |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xvi |
| 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE TRABALHO | 8 |
| 2.1 - Localização | 9 |
| 2.2 - Historial | 12 |
| 2.3 - Geomorfologia Regional | 16 |
| 2.4 - Geologia | 21 |
| 2.5 - Aspectos Climáticos Gerais | 33 |
| 2.5.1 - Precipitação | 33 |
| 2.5.2 - Temperatura do ar | 35 |
| 2.5.3 - Evapotranspiração | 37 |
| 2.5.4 - Infiltração | 38 |
| 2.6 - Hidrogeologia | 39 |
| 3 - METODOLOGIA | 42 |
| 3.1 - Inventário e selecção dos pontos de água | 43 |
| 3.2 - Programa de monitorização | 47 |
| 3.3 - Colheita e preparação das amostras | 49 |
| 3.4 - Colheita de precipitação | 51 |
| 3.5 - Métodos analíticos | 53 |
| 3.6 - Verificação da precisão analítica | 53 |
| 3.6.1 - Balanço de cargas | 57 |
| 3.6.2 - Condutividade eléctrica | 59 |
| 4 - EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA | 61 |
| 4.1 - Conceitos básicos | 62 |
| 4.1.1 - Parâmetros físico-químicos | 65 |
| 4.1.2 - Principais constituintes e gases dissolvidos | 70 |
| 4.1.3 - Alcalinidade | 97 |
| 4.1.4 - Dureza | 98 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.5 - Processos geoquímicos em águas | 98 |
| 4.2 - Evolução hidroquímica no Aterro Sanitário da Braval | 104 |
| 4.2.1 - Dados de campo | 104 |
| 4.2.2 - Dados de laboratório | 112 |
| 4.2.3 - Síntese | 129 |
| 4.3 - Evolução hidroquímica na Lixeira de Braga | 131 |
| 4.3.1 - Dados de campo | 131 |
| 4.3.2 - Dados de laboratório | 143 |
| 4.3.3 - Síntese | 165 |
| 4.4 - Evolução hidroquímica na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 166 |
| 4.4.1 - Dados de campo | 166 |
| 4.4.2 - Dados de laboratório | 173 |
| 4.4.3 - Síntese | 192 |
| 5 - CONCLUSÕES E NOVAS PROPOSTAS DE TRABALHO | 193 |
| BIBLIOGRAFIA | 197 |
| ANEXOS | 204 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | <i>Páginas</i> |
|------------------|---|----------------|
| Figura 1 | Localização das áreas em estudo | 10 |
| Figura 2 | Localização do ASB | 11 |
| Figura 3 | Localização da Lixeira de Braga | 11 |
| Figura 4 | Localização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 12 |
| Figura 5 | Geomorfologia da área envolvente do ASB | 18 |
| Figura 6 | Geomorfologia da área envolvente da Lixeira de Braga | 19 |
| Figura 7 | Geomorfologia da área envolvente da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 20 |
| Figura 8 | Enquadramento geológico da região de Braga | 21 |
| Figura 9 | Enquadramento geológico do ASB | 24 |
| Figura 10 | Enquadramento geológico da Lixeira de Braga | 28 |
| Figura 11 | Enquadramento geológico da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 29 |
| Figura 12 | Mapa de isoietas da região do Minho | 34 |
| Figura 13 | Evapotranspiração real média anual na região do Minho | 38 |
| Figura 14 | Distribuição espacial dos pontos de monitorização do ASB | 43 |
| Figura 15 | Distribuição espacial dos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 45 |
| Figura 16 | Distribuição espacial dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 46 |
| Figura 17 | Processo de colheita e preparação de amostras | 50 |
| Figura 18 | Representação esquemática do dispositivo utilizado na recolha de precipitação | 52 |
| Figura 19 | Distribuição das espécies CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-} na água em função do pH | 75 |
| Figura 20 | Diagrama representativo dos campos de estabilidade das soluções aquosas dos sistemas férrico-ferrosos | 83 |
| Figura 21 | Diagrama de estabilidade pe/pH para as espécies de arsénio dissolvidas | 92 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | <i>Páginas</i> |
|--|----------------|
| Quadro 1 Constituição da cobertura final da Lixeira de Braga | 14 |
| Quadro 2 Características petrográficas e mineralógicas dos Granitos de Braga e Briteiros | 25 |
| Quadro 3 Composição dos Granitos de Braga e Briteiros em elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm) | 26 |
| Quadro 4 Características petrográficas e mineralógicas do Granito de Agrela | 30 |
| Quadro 5 Composição do Granito de Agrela em elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm) | 31 |
| Quadro 6 Legenda da Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D-Braga à escala 1/50 000 .. | 32 |
| Quadro 7 Descrição dos pontos de monitorização do ASB | 44 |
| Quadro 8 Descrição dos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 45 |
| Quadro 9 Descrição dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 47 |
| Quadro 10 Data das colheitas, número de amostras recolhidas em cada um dos locais em estudo e pontos amostrados | 48 |
| Quadro 11 Concentrações médias de alguns dos elementos mais comuns nos lixiviados provenientes de áreas de deposição de resíduos sólidos | 64 |
| Quadro 12 Principais elementos presentes nas águas subterrâneas | 71 |
| Quadro 13 Mineralogia de alguns carbonatos | 76 |
| Quadro 14 Reacções da meteorização de diferentes silicatos | 88 |
| Quadro 15 Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB | 105 |
| Quadro 16 Estatística descritiva dos valores da condutividade recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB | 108 |
| Quadro 17 Estatística descritiva dos valores de pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB | 110 |
| Quadro 18 Estatística descritiva dos valores de Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB | 111 |
| Quadro 19 Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga | 132 |
| Quadro 20 Estatística descritiva dos valores da condutividade recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga | 134 |
| Quadro 21 Estatística descritiva dos valores de pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga | 140 |
| Quadro 22 Estatística descritiva dos valores de Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga | 141 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Quadro 23 | Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 167 |
| Quadro 24 | Estatística descritiva dos valores da condutividade recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 169 |
| Quadro 25 | Estatística descritiva dos valores de pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 171 |
| Quadro 26 | Estatística descritiva dos valores de Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 172 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | <i>Páginas</i> |
|---|----------------|
| Gráfico 1 Valores de erro de balanço de cargas (%) dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo | 57 |
| Gráfico 2 Valores de erro de balanço de cargas (mq/l) dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo | 58 |
| Gráfico 3 Valores da relação CEC/CEm dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo | 59 |
| Gráfico 4 Valores da relação TSDc/CEm dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo | 60 |
| Gráfico 5 Variação da temperatura (°C) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB | 104 |
| Gráfico 6 Variação da condutividade eléctrica (µS/cm) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB | 107 |
| Gráfico 7 Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB | 109 |
| Gráfico 8 Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização do ASB | 111 |
| Gráfico 9 Concentração de Cl ⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB | 114 |
| Gráfico 10 Concentração de SO ₄ ²⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB | 114 |
| Gráfico 11 Concentração de HCO ₃ ⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB | 114 |
| Gráfico 12 Concentração de NO ₃ ⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB | 115 |
| Gráfico 13 Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl ⁻ no ASB (dados das três campanhas) | 116 |
| Gráfico 14 Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO ₃ ⁻ no ASB (dados das três campanhas) | 116 |
| Gráfico 15 Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl ⁻ no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11) | 117 |
| Gráfico 16 Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO ₃ ⁻ no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11) | 117 |
| Gráfico 17 Concentração de Na ⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB | 118 |
| Gráfico 18 Concentração de K ⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB | 118 |
| Gráfico 19 Concentração de Ca ²⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB | 119 |
| Gráfico 20 Concentração de Mg ²⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB | 119 |
| Gráfico 21 Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas no ASB | 119 |
| Gráfico 22 Diagrama de dispersão da concentração de Ca ²⁺ em função da concentração de HCO ₃ ⁻ no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11) | 121 |
| Gráfico 23 Diagrama de dispersão da concentração de Mg ²⁺ em função da concentração de HCO ₃ ⁻ no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11) | 121 |
| Gráfico 24 Concentração de SiO ₂ nas três campanhas efectuadas no ASB | 122 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Gráfico 25 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SiO_2 no ASB (dados das três campanhas) | 123 |
| Gráfico 26 | Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas no ASB | 124 |
| Gráfico 27 | Concentração de Al nas três campanhas efectuadas no ASB | 124 |
| Gráfico 28 | Concentração de As nas três campanhas efectuadas no ASB | 126 |
| Gráfico 29 | Concentração de Ba nas três campanhas efectuadas no ASB | 126 |
| Gráfico 30 | Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas no ASB | 126 |
| Gráfico 31 | Concentração de Ni nas três campanhas efectuadas no ASB | 127 |
| Gráfico 32 | Concentração de Pb nas três campanhas efectuadas no ASB | 127 |
| Gráfico 33 | Concentração de Zn nas três campanhas efectuadas no ASB | 127 |
| Gráfico 34 | Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 131 |
| Gráfico 35 | Diagrama de dispersão dos valores de temperatura do ponto P7 em função dos valores de temperatura do ponto P3 na Lixeira de Braga | 133 |
| Gráfico 36 | Diagrama de dispersão dos valores de temperatura do ponto P5 em função dos valores de temperatura do ponto P4 na Lixeira de Braga | 133 |
| Gráfico 37 | Variação da condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 134 |
| Gráfico 38 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P5 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P4 na Lixeira de Braga | 136 |
| Gráfico 39 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P3 na Lixeira de Braga | 136 |
| Gráfico 40 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P2 na Lixeira de Braga | 137 |
| Gráfico 41 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P2 na Lixeira de Braga | 137 |
| Gráfico 42 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P3 na Lixeira de Braga | 138 |
| Gráfico 43 | Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 na Lixeira de Braga | 138 |
| Gráfico 44 | Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 139 |
| Gráfico 45 | Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga | 141 |
| Gráfico 46 | Diagrama de dispersão dos valores de Eh em função dos valores de temperatura do ponto P2 na Lixeira de Braga | 142 |
| Gráfico 47 | Diagrama de dispersão dos valores de Eh em função dos valores de temperatura do ponto P3 na Lixeira de Braga | 142 |
| Gráfico 48 | Concentração de Cl^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 143 |
| Gráfico 49 | Concentração de SO_4^{2-} nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 144 |
| Gráfico 50 | Concentração de HCO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 144 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Gráfico 51 | Concentração de NO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 144 |
| Gráfico 52 | Diagrama de dispersão da concentração de HCO_3^- em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga | 147 |
| Gráfico 53 | Diagrama de dispersão da concentração de HCO_3^- em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga | 147 |
| Gráfico 54 | Diagrama de dispersão da concentração de SO_4^{2-} em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga | 147 |
| Gráfico 55 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 148 |
| Gráfico 56 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO_3^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 149 |
| Gráfico 57 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 149 |
| Gráfico 58 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO_3^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas, excepto dos pontos P2 e P3) | 150 |
| Gráfico 59 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga (dados das três campanhas, excepto dos pontos P2 e P3) | 150 |
| Gráfico 60 | Concentração de Na^+ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 152 |
| Gráfico 61 | Concentração de K^+ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 152 |
| Gráfico 62 | Concentração de Ca^{2+} nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 152 |
| Gráfico 63 | Concentração de Mg^{2+} nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 153 |
| Gráfico 64 | Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 153 |
| Gráfico 65 | Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Na^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 155 |
| Gráfico 66 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Na^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 156 |
| Gráfico 67 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de K^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 156 |
| Gráfico 68 | Diagrama de dispersão da concentração de Na^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 157 |
| Gráfico 69 | Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas) | 158 |
| Gráfico 70 | Concentração de SiO_2 nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 159 |
| Gráfico 71 | Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 160 |
| Gráfico 72 | Concentração de Al nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 160 |
| Gráfico 73 | Concentração de As nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 162 |
| Gráfico 74 | Concentração de Cr nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 162 |
| Gráfico 75 | Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 163 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Gráfico 76 | Concentração de Ni nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga | 163 |
| Gráfico 77 | Variação da temperatura (°C) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 166 |
| Gráfico 78 | Variação da condutividade eléctrica (µS/cm) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 168 |
| Gráfico 79 | Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 170 |
| Gráfico 80 | Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 172 |
| Gráfico 81 | Concentração de Cl ⁻ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 173 |
| Gráfico 82 | Concentração de SO ₄ ²⁻ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 174 |
| Gráfico 83 | Concentração de HCO ₃ ⁻ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 174 |
| Gráfico 84 | Concentração de NO ₃ ⁻ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 174 |
| Gráfico 85 | Diagrama de dispersão da concentração de Cl ⁻ em função da concentração de NO ₃ ⁻ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas) | 174 |
| Gráfico 86 | Diagrama de dispersão da concentração de Cl ⁻ em função da concentração de NO ₃ ⁻ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P3 e P12) | 178 |
| Gráfico 87 | Diagrama de dispersão da concentração de Cl ⁻ em função da concentração de NO ₃ ⁻ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P7 e P9) | 178 |
| Gráfico 88 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl ⁻ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas) | 179 |
| Gráfico 89 | Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de NO ₃ ⁻ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas) | 179 |
| Gráfico 90 | Concentração de Na ⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 180 |
| Gráfico 91 | Concentração de K ⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 180 |
| Gráfico 92 | Concentração de Ca ²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 181 |
| Gráfico 93 | Concentração de Mg ²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 181 |
| Gráfico 94 | Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 181 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Gráfico 95 | Diagrama de dispersão da concentração de Mg^{2+} em função da concentração de Na^+ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas) | 185 |
| Gráfico 96 | Diagrama de dispersão da concentração de Mg^{2+} em função da concentração de Na^+ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P3 e P12) | 185 |
| Gráfico 97 | Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Ca^{2+} na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas) | 186 |
| Gráfico 98 | Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Ca^{2+} na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto nos pontos P3, P7 e P12) | 186 |
| Gráfico 99 | Diagrama de dispersão da concentração de Na^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto nos pontos P3, P7 e P12) | 187 |
| Gráfico 100 | Concentração de SiO_2 nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 188 |
| Gráfico 101 | Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 189 |
| Gráfico 102 | Concentração de Al nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 190 |
| Gráfico 103 | Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 190 |
| Gráfico 104 | Concentração de Zn nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 191 |
| Gráfico 105 | Concentração de Ba nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso | 192 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------|--|
| ASB | Aterro Sanitário da Braval |
| LB | Lixeira de Braga |
| LPL | Lixeira da Póvoa de Lanhoso |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| CE | Condutividade Eléctrica |
| CEc | Condutividade Eléctrica calculada |
| CEm | Condutividade Eléctrica medida |
| CTC | Capacidade de Troca Catiónica |
| EBC | Erro de Balanço de Cargas |
| EN | Estrada Nacional |
| ETP | Evapotranspiração Potencial |
| ETR | Evapotranspiração Real |
| TSD | Total de Sólidos Dissolvidos |
| TSDc | Total de Sólidos Dissolvidos calculado |
| TSDm | Total de Sólidos Dissolvidos medido |
| VP | Valor Paramétrico |

1 - INTRODUÇÃO



1 - INTRODUÇÃO

Sem dúvida que nos últimos anos a área do ambiente mais discutida tem sido a dos resíduos, não fosse esta uma das áreas onde se verificavam (e ainda verificam) maiores carências. O aumento progressivo da produção de resíduos é inevitável e o seu armazenamento em locais seguros é indispensável para o bem estar da população e protecção do ambiente. A procura de soluções adequadas para o tratamento e o destino final dos resíduos (resíduos sólidos urbanos, hospitalares, industriais ou agrícolas) tem ganho uma importância crescente, assumindo-se como um dos grandes desafios actuais em matéria de Ambiente.

Perante a ausência de uma estratégia de gestão neste campo, verificou-se, ao longo de vários anos, a deposição de resíduos sem qualquer controlo em lixeiras por todo o país. Tal situação representa um elevado risco para a saúde das populações e meio ambiente, neste último caso em particular por contaminação de solos, de cursos de água e de aquíferos (AFA, 2000).

De modo a avaliar os efeitos da deposição de resíduos sólidos nos aterros sanitários é necessário reconhecer uma infeliz falta de distinção entre o planeamento e a construção do aterro sanitário e a variante de operações classificadas como lixeiras. Assim, um **aterro sanitário** é definido como “uma área destinada ao depósito controlado de resíduos sólidos urbanos onde está envolvida a escavação da zona subsuperficial da área em causa” (U.S. EPA, 1973). Por outro lado, as **lixeiros** podem ser definidas como “áreas onde ocorre a deposição não controlada de todo e qualquer tipo de resíduos” (U.S. EPA, 1973).

Os resíduos sólidos municipais incluem resíduos domésticos, comerciais e certos resíduos industriais, os quais o sector público assume a responsabilidade de recolher e distribuir. No entanto, alguns resíduos comerciais e industriais não perigosos, que são recolhidos actualmente por firmas privadas, também podem ser descarregados nos aterros sanitários públicos, juntamente com os restantes resíduos que os próprios municípios libertam. Infelizmente, lixo radioactivo, tóxicos e desperdícios perigosos têm também sido depositados nos aterros sanitários (Rail, 1989).

O armazenamento de qualquer tipo de resíduos nos aterros sanitários e nas lixeiras coloca potenciais problemas, uma vez que se processam sempre reacções de degradação biológica e química dos resíduos sólidos aí depositados promovidas por microrganismos, pela presença de água proveniente da infiltração, da precipitação e pela humidade dos resíduos, resultando um líquido designado **lixiviado** (Fatta et al., 1999). Os **lixiviados** são assim, por definição, água contaminada devido à percolação desta ao longo dos resíduos depositados no aterro sanitário (Rail, 1989).

Os lixiviados, quer pela sua composição química, quer biológica constituem, quando mal manipulados ou controlados, um grande impacte negativo para o solo, subsolo e aquíferos subjacentes, uma vez que possuem um elevado potencial poluente. Este problema é importante especialmente quando estão envolvidos resíduos industriais, uma vez que muitas dessas substâncias são resistentes à degradação química ou biológica e, esses, podem permanecer na sua forma original por muitos anos ou mesmo séculos (Fatta et al., 1999).

O efeitos negativos provocados pelos lixiviados têm maior impacte nas lixeiras, onde estes são produzidos maioritariamente pelo contacto da água das chuvas com a massa de resíduos, sendo depois libertados de modo incontrolado. Esta ocorrência incontrolada de lixiviados pode, em função das condições geológicas e hidrogeológicas do local, provocar uma maior contaminação dos solos, subsolos e aquíferos.

As lixeiras têm ainda riscos potenciais gerados pela auto-combustão dos resíduos que, muitas vezes, gera focos de incêndio e fumos, factores incómodos para a vizinhança.

O encerramento e recuperação destes locais, no qual está englobada a restrição de acesso à lixeira, é prioritário, permitindo resolver os problemas para o ambiente e saúde pública. A massa de resíduos deverá ser modelada e impermeabilizada, fazendo-se a drenagem e recuperação/tratamento dos lixiviados e biogás (quando existentes e passíveis de recuperação) e o encaminhamento das águas pluviais não contaminadas. A área selada deverá ser totalmente vedada e integrada paisagística e morfologicamente na envolvente (Conegil, 1998).

Assim, como resultado do vazamento do lixiviado oriundo dum aterro sanitário ou duma lixeira, poderá ocorrer a **contaminação das águas subterrâneas** com compostos orgânicos e inorgânicos. Deste modo, a composição química natural destas

águas, que varia consoante a composição mineral das formações geológicas que constituem o aquífero e com a proveniência e os caminhos percorridos por essas águas, pode sofrer mudanças significativas, devido à presença de aterros sanitários ou lixeiras nas proximidades. As práticas agrícolas incorrectas, fossas sépticas e tubagens de esgotos danificadas, são exemplos de outras actividades humanas susceptíveis de provocar alterações na composição das águas subterrâneas.

Normalmente, mais do que um químico pode ser libertado, migrando estes a escalas diferentes ao longo do solo, pelo que podem ocorrer efeitos tardios. Como resultado, podem-se formar complexas plumas de água contaminada que poderão afectar águas privadas e/ou públicas de poços de abastecimento (Rail, 1989; Fetter, 1994).

À medida que a pluma de água subterrânea se afasta da fonte de contaminação, a concentração dos contaminantes diminui devido ao efeito de difusão hidrodinâmica e da retardação hidrodinâmica. Podemos, deste modo, afirmar que a contaminação da água subterrânea está directamente correlacionada com a localização da nascente, a direcção do fluxo da água subterrânea e a distância do local de deposição dos resíduos (Rail, 1989).

As águas subterrâneas em Portugal têm um papel fundamental no abastecimento doméstico, industrial e agrícola, pelo que a sua contaminação e deterioração se tornam cada vez mais preocupantes. Segundo APRH (2004), cerca de 80% do total das explorações agrícolas são abastecidas por águas subterrâneas. Das águas para consumo doméstico e industrial cerca de 57% provém de origem subterrânea, chegando a atingir 94% do total da água consumida. Visto que, nos próximos tempos a crescente produção de resíduos é inevitável e o seu armazenamento é indispensável, há que encontrar soluções que permitam satisfazer as necessidades de tratamento e armazenamento dos resíduos sem, contudo, colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas.

Nesta perspectiva, no presente trabalho propomo-nos averiguar o impacte ambiental dos depósitos de resíduos sólidos domésticos na qualidade das águas subterrâneas. Para tal, recorreremos a um aterro sanitário e a duas lixeiras localizadas nos concelhos de Braga e Póvoa de Lanhoso: Sistema Multimunicipal do Baixo Cávado (Aterro Municipal da Braval, Lixeira de Braga e Lixeira da Póvoa de Lanhoso).

Os objectivos que orientaram este trabalho são os seguintes:

- Monitorizar a qualidade das águas subterrâneas nas áreas adjacentes a depósitos de resíduos sólidos;
- Avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas, resultante da infiltração de lixiviados, bem como determinar a sua influência sobre as captações mais próximas;
- Propor modelos de circulação subterrânea para cada um dos casos em estudo;
- Verificar a eficiência dos processos de selagem de antigos depósitos de resíduos.

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos principais que estão, por sua vez, divididos em subcapítulos. Assim, para além deste capítulo introdutório e das conclusões, o trabalho compreende mais três capítulos.

Após esta nota introdutória, onde pretendemos fazer uma breve abordagem sobre a actual estratégia de gestão dos resíduos e a sua relação com a qualidade das águas subterrâneas, segue-se um **SEGUNDO CAPÍTULO** destinado à ***Caracterização Geral da Área de Trabalho***. Esta caracterização foi efectuada com base em seis itens, constituindo cada um deles um subcapítulo. No primeiro, referente à **localização**, procedeu-se ao enquadramento geográfico de cada uma das áreas nos respectivos concelhos e freguesias, recorrendo-se para tal à Folha 5 da Carta de Portugal do Instituto Geográfico e Cadastral, à escala 1/100 000 e às Folhas 56, 57 e 70 da Carta Militar de Portugal, à escala 1/25 000.

O seguinte subcapítulo, denominado de “**Historial**”, permite-nos ter uma visão generalizada das principais etapas de funcionamento das áreas de trabalho, desde a sua criação até ao presente.

Relativamente ao terceiro subcapítulo, dedicado à **geomorfologia**, foi efectuada uma caracterização geral da região de Braga, que abrange as três zonas em estudo, e também uma breve referência à geomorfologia específica de cada uma das áreas.

A **geologia** constitui o quarto subcapítulo. Este foi elaborado essencialmente com base em trabalhos realizados por Ferreira *et al.*(2000) e Gomes *et al.* (1996), visando a caracterização textural, estrutural e geoquímica das rochas dominantes na diferentes áreas. São apresentados extractos da Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D

– Braga à escala 1/50 000 para mais fácil visualização e inserção das áreas de trabalho na respectiva zona geológica.

É ainda realizada uma síntese dos principais **Aspectos Climáticos Gerais** da região, nomeadamente, precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração e infiltração.

O último subcapítulo, “**Hidrogeologia**”, foi elaborado fundamentalmente com base em dados fornecidos por Gomes *et al.* (1996) e pelos relatórios efectuados pelas empresas responsáveis pela selagem e recuperação das lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso, respectivamente, Conegil – Empreiteiros, Lda. e Datageo – Tecnologias de Geologia e Ambiente, Lda.

O **TERCEIRO CAPÍTULO**, relativo à **Metodologia**, descreve as etapas efectuadas com vista à monitorização e recolha de amostras de água no aterro sanitário e nas lixeiras. Este capítulo é composto por seis subcapítulos. Inicia-se pelo processo de **inventariação e selecção de pontos de água**, sendo apresentada uma figura para cada uma das áreas com a localização dos respectivos pontos inventariados. Segue-se a explicação do **processo de monitorização**, onde são definidos os parâmetros físicos a analisar e a respectiva periodicidade e o **modo de colheita e preparação das amostras**. No quarto subcapítulo faz-se alusão ao método utilizado para a **colheita de precipitação** para análise química, com o objectivo de numa fase posterior fazer a comparação dos resultados obtidos com a composição química das águas analisadas.

Ainda neste capítulo, procedeu-se à enumeração dos **métodos analíticos** utilizados pelo laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho e pelo Activation Laboratories (Canadá) na determinação de alguns parâmetros como cor, turvação, pH, condutividade eléctrica, aniões, catiões, elementos menores, elementos traço, entre outros.

O capítulo da Metodologia é finalizado com a **verificação da precisão analítica**, onde é estipulado um conjunto de critérios, com o objectivo de avaliar a qualidade dos resultados obtidos. Para tal analisou-se o valor do balanço de cargas (% e meq/l) dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas, a relação entre a condutividade eléctrica calculada e a condutividade eléctrica medida e ainda a relação entre o total de sólidos dissolvidos calculado e a condutividade eléctrica medida.

O **CAPÍTULO QUATRO – *Evolução Hidroquímica***, é composto por quatro subcapítulos. Um primeiro, onde se efectuou uma pequena compilação das principais propriedades físico-químicas da água, assim como uma breve descrição de alguns processos e fenómenos que nela decorrem, para melhor podermos interpretar os resultados obtidos, e os restantes três relativos à Evolução Hidroquímica em cada uma das áreas de estudo. Nestes subcapítulos são apresentados quadros de descrição estatísticas dos valores de temperatura, condutividade eléctrica, pH e Eh registados ao longo do período de monitorização nos pontos inventariados e gráficos da variação desses mesmos parâmetros e da evolução das concentrações dos aniões, catiões, elementos menores e traço ao longo das três campanhas efectuadas. Estes teores foram comparados com os valores paramétricos estabelecidos pelo Decreto lei n.º 243/01 de 5 de Setembro referente às águas para consumo humano, tentando relacionar casos de deterioração da qualidade da água com possíveis influências provocadas pela proximidade dos locais de deposição de resíduos sólidos ou outras actividades antrópicas.

No último capítulo, **CAPÍTULO CINCO – Conclusões e Novas Propostas de Trabalho** – fez-se uma síntese interpretativa dos aspectos mais relevantes do trabalho, retirando-se as principais conclusões. Referem-se ainda alguns pontos que ficam em aberto e que constituem a base para futuros trabalhos.

2 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE TRABALHO

2.1 - Localização

2.2 - Historial

2.3 - Geomorfologia Regional

2.4 - Geologia

2.5 - Aspectos Climáticos Gerais

2.6 - Hidrogeologia



2 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE TRABALHO

2.1 - LOCALIZAÇÃO

O distrito de Braga, com uma área de 2700 Km², engloba 14 concelhos: Esposende, Barcelos, Vila Verde, Amares, Braga, Vila Nova de Famalicão, Terras de Bouro, Vieira do Minho, Póvoa de Lanhoso, Guimarães, Fafe, Vizela, Cabeceiras de Basto e Celorico de Basto. Braga e Póvoa de Lanhoso terão especial destaque neste trabalho, uma vez que os três objectos deste estudo, o Aterro Sanitário da Braval e as Lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso, se situam em freguesias destes concelhos. A sua localização encontra-se representada na figura 1.

O **Aterro Sanitário da Braval (ASB)** localiza-se na freguesia de Pedralva, bastante próximo do limite entre os concelhos de Braga e Póvoa de Lanhoso. Situa-se mais exactamente a 10 Km para Este relativamente à cidade de Braga e a cerca de 600 m da EN n.º 103 segundo a direcção Sul. Esta área é coberta pela folha 56 – Amares e pela folha 57 – Póvoa de Lanhoso da Carta Militar de Portugal à escala 1/25 000, editada pelos Serviços Cartográficos do Exército (Figura 2).

No concelho de Braga, freguesia de Padim da Graça, situa-se uma das duas lixeiras seleccionadas para este estudo, a qual passaremos a denominar de “**Lixeira de Braga**”. Esta, está localizada no topo de uma elevação na fronteira entre os concelhos de Braga e Vila Verde, próximo de um povoado denominado Paço (este aglomerado populacional já se encontra inserido no concelho de Vila Verde). Situa-se no sector mais ocidental em relação à cidade de Braga. As folhas da Carta Militar de Portugal que cobrem esta área são as 56 (Amares) e 70 (Braga) à escala 1/25 000 (Figura 3).

A segunda lixeira, que designaremos de “**Lixeira da Póvoa de Lanhoso**”, coberta pela folha 57 (Póvoa de Lanhoso) da Carta Militar de Portugal (escala 1/25 000), situa-se, tal como o nome indica, no concelho de Póvoa de Lanhoso, freguesia de Calvos. As habitações mais próximas encontram-se 200 metros a NE da lixeira, designando-se este aglomerado populacional de Quintã (Figura 4).

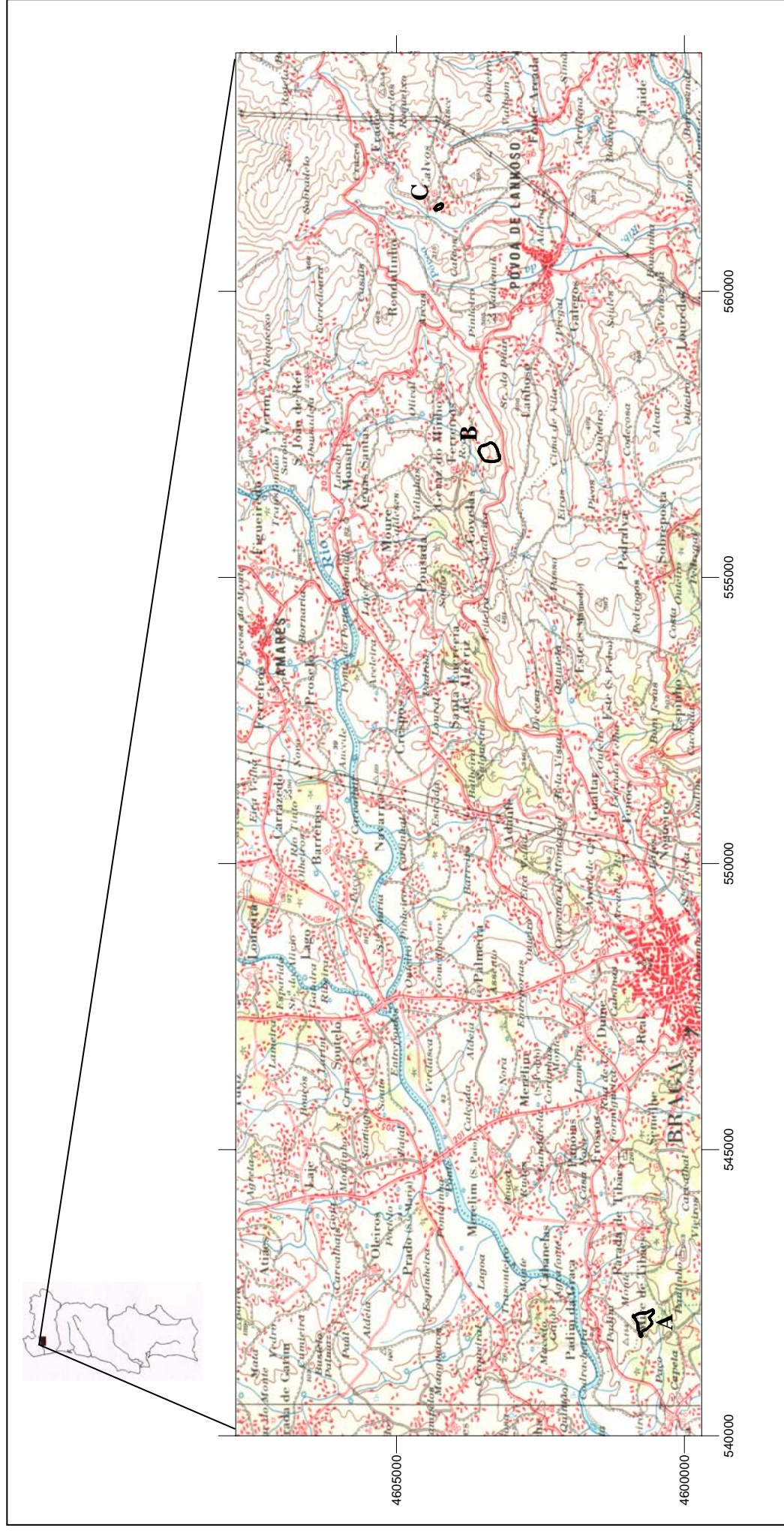


Figura 1 - Localização das áreas em estudo (A - Lixeira de Braga, B - ASB, C - Lixeira da Póvoa de Lanhoso) (elaborado com base na folha 5 da Carta de Portugal do Instituto Geográfico e Cadastral, à escala 1/100 000).

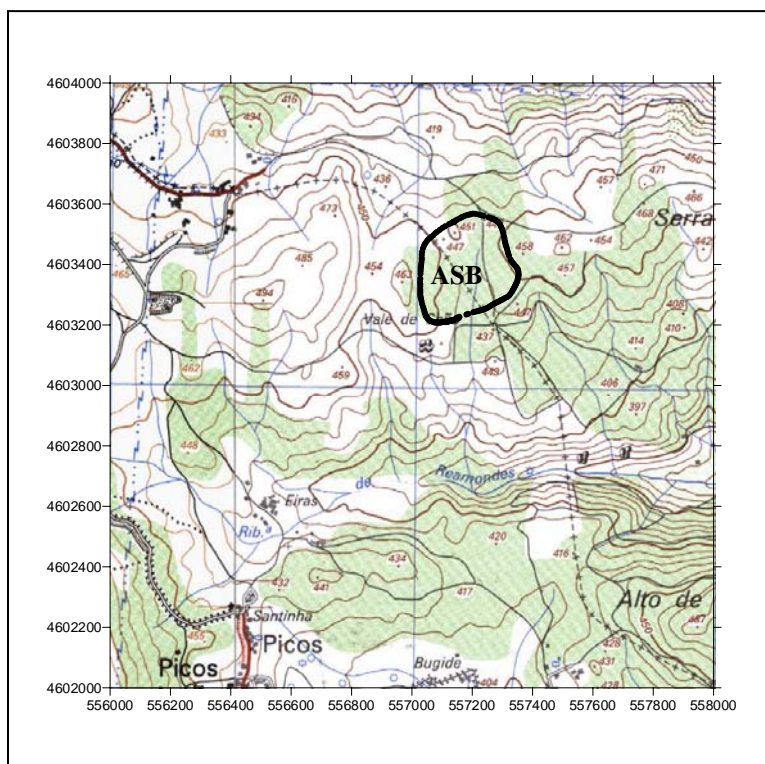


Figura 2 - Localização do ASB (Extracto das Cartas Militares de Portugal, Folha 56 – Amares e Folha 57 - Póvoa de Lanhoso, à escala 1/25 000).

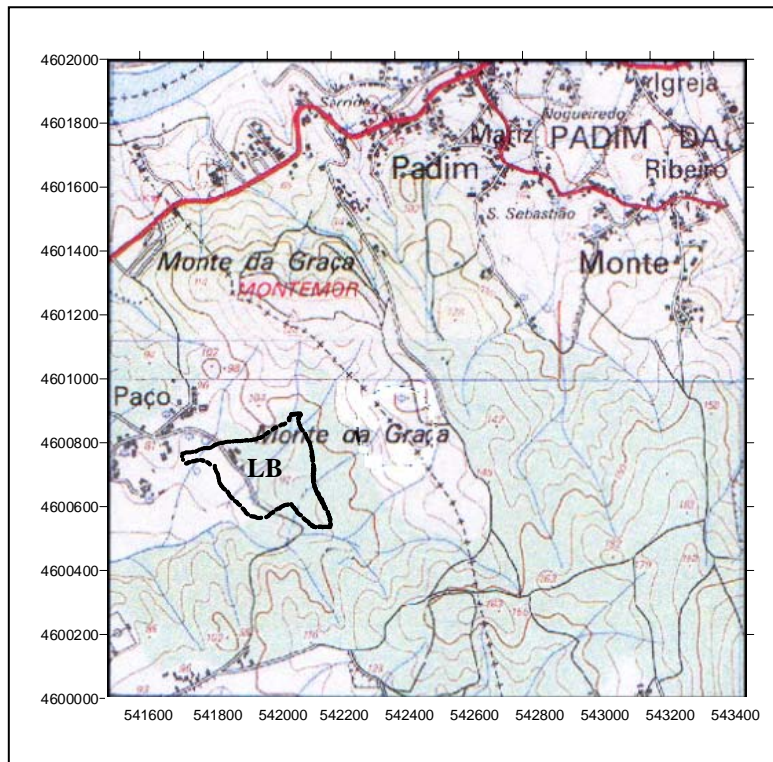


Figura 3 - Localização da Lixeira de Braga (LB) (Extracto das Cartas Militares de Portugal, Folha 56 – Amares e Folha 70 – Braga, à escala 1/25 000).

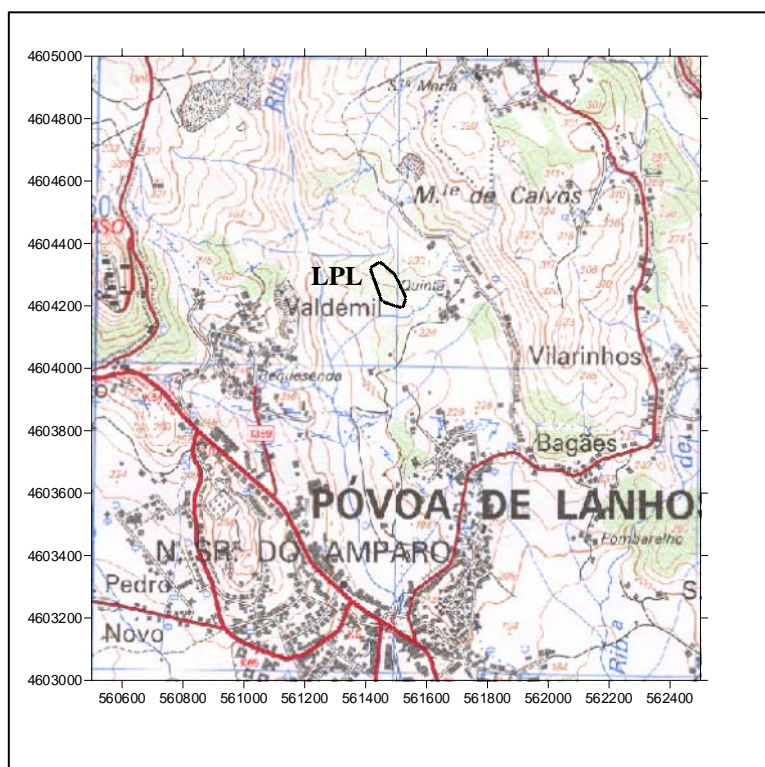


Figura 4 – Localização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso (LPL) (Extracto da Carta Militar de Portugal, Folha 57 - Póvoa de Lanhoso, à escala 1/25 000).

2.2 - HISTORIAL

A - ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL (ASB)

Pelo decreto-lei 117/96 de 6 de Agosto é criado o sistema multimunicipal de triagem, recolha selectiva, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Baixo Cávado, processo que conduziu à constituição da Sociedade BRAVAL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, S.A.

A BRAVAL, S.A. é constituída por um **aterro sanitário (Aterro Sanitário da Braval – ASB)**, uma estação de triagem e uma estação de transferência situada em Vieira do Minho. Possui ainda dois ecocentros, um junto ao aterro, outro junto à estação de transferência, uma Estação de Tratamento de Água Lixiviadas e uma Estação Meteorológica.

No momento de arranque deste sistema, a BRAVAL serviu os concelhos de Braga, Póvoa de Lanhoso e Vieira do Minho garantindo, deste modo, o encerramento,

selagem e requalificação ambiental das três lixeiras destes concelhos. Decorridos três anos, em 1999, a sua área de intervenção foi estendida a mais três concelhos, designadamente, Vila Verde, Amares e Terras de Bouro. Desde a entrada em vigor do aterro deu-se a recuperação e selagem de um total de 11 lixeiras.

O ASB assiste aproximadamente uma população de 274 398 habitantes, que produz sensivelmente 97 000 toneladas por ano de resíduos sólidos urbanos (RSU's). Para além dos resíduos sólidos urbanos de origem doméstica, o ASB, por despacho ministerial, está autorizado a receber também resíduos industriais banais.

Com o objectivo de cumprir na íntegra o quadro legislativo ambiental a BRAVAL, S.A., instalou no ASB um laboratório para poder efectuar análises de monitorização, nomeadamente, às águas lixiviadas, às águas superficiais e subterrâneas e aos próprios resíduos.

Recentemente, e de modo a otimizar a viabilidade do aterro sanitário, a BRAVAL, S.A., adquiriu um equipamento para a valorização do biogás.

Neste momento, o ASB constitui um dos principais aterros sanitários do Noroeste Português.

B - LIXEIRA DE BRAGA

A Lixeira de Braga, com uma área de cerca de 70 000 m², esteve em funcionamento de 1986 até 1998, estando a sua exploração nos três últimos anos a cargo das “Águas do Cávado”. Nesse período recebia cerca de 50 000 toneladas/ano de resíduos urbanos e também resíduos industriais e comerciais em quantidade indeterminada, que eram acumulados na lixeira indiscriminadamente, sem qualquer tipo de impermeabilização de fundo ou lateral e sem drenagem nem tratamento de lixiviados e biogás. Esses resíduos eram apenas acondicionados periodicamente com uma máquina compactadora e cobertos, segundo informação da BRAVAL, S.A., com uma deficiente camada de terra. Ao longo do seu funcionamento, e de acordo com a mesma fonte de informação, a contaminação dos solos, de linhas e captações de água era visível, tendo mesmo sido fornecida água canalizada às populações envolventes devido à contaminação dos poços.

A Lixeira de Braga inicialmente não se encontrava vedada, no entanto, o acesso a esta só era permitido mediante a apresentação de um documento, dado estar localizada numa propriedade privada.

Em 1999, a cargo da BRAVAL, S.A. e por incumbência do Ministério do Ambiente, deu-se início à selagem e recuperação ambiental da lixeira, tendo a obra sido concluída em Abril de 2000. Dado isto, à data da execução deste estudo a lixeira já se encontrava devidamente encerrada e selada, existindo no interior dos seus limites três piezómetros de monitorização.

A selagem e recuperação da lixeira numa primeira etapa consistiu na modelação e correcção de taludes de modo a obter declives mais suaves. Seguiu-se a cobertura final da área, que apresentamos, de modo sintético, no quadro 1.

Quadro 1 – Constituição da cobertura final da Lixeira de Braga (Conegil, 1999)

| Plataforma superior (73285m ²) | | Taludes (18315m ²) | |
|--|----------------------|--|----------------------|
| <i>Natureza</i> | <i>Espessura (m)</i> | <i>Natureza</i> | <i>Espessura (m)</i> |
| <u>Camada de Cobertura:</u> - Materiais terrosos e terra vegetal. | 0,2 | <u>Camada de Cobertura:</u> - Materiais terrosos e terra vegetal. | 0,2 |
| <u>Camada Drenante:</u> - Material mineral permeável protegido superiormente por um geotêxtil. | - 0,2 | <u>Camada Drenante:</u> - Camada de fixação e atrito para as terras vegetais em geocomposto constituído por georede e geotêxtil na face inferior; | 0,2 |
| <u>Camada de Impermeabilização:</u> - Terra com características argilosas, compactada em camadas. | 0,5 | <u>Camada de Impermeabilização:</u> - Terra com características argilosas, compactada em camadas. | 0,5 |
| <u>Camada de Regularização:</u> - Material terroso. | 0,1 | <u>Camada de Regularização:</u> - Material terroso. | 0,1 |
| Espessura Total | 1 | Espessura Total | 1 |

Na Lixeira de Braga foram ainda criados sistemas de drenagem de águas pluviais e sistemas de drenagem e tratamento de águas lixiviantes e biogás.

No que diz respeito ao sistema de drenagem das águas pluviais, após a selagem da lixeira e dado que a área apresenta inclinações suficientes para garantir o escoamento das águas pluviais para o sistema de drenagem, foi construída uma vala periférica

externa de pé de talude capaz de interceptar o escoamento passível de se manifestar nas vizinhanças da zona da lixeira.

O sistema de drenagem e tratamento das águas lixiviantes consiste em valas drenantes localizadas na base dos taludes que confluem num poço de recepção e bombagem na zona mais baixa da lixeira. Aqui, as águas lixiviantes captadas são bombadas para a zona de entrada para recolha com veículo limpa-fossas. O sistema de drenagem e tratamento de biogás está situada na zona mais alta da lixeira, à entrada da mesma. Este consiste numa estação de 50–250 Nm³/h a temperaturas de 850 °C, fixada sobre laje em betão armado.

C - LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO

Segundo o relatório efectuado pela Conegil (1998), a Lixeira da Póvoa de Lanhoso esteve em funcionamento entre 1982 e 1997, apresentando uma área total de deposição de resíduos de cerca de 8 500 m². Ao longo desse período, os resíduos foram depositados desordenadamente sobre a plataforma superior da lixeira, onde eram queimados diariamente e posteriormente empurrados para o talude (bastante declivoso). O lixo aí depositado foi sendo arrastado pelas águas pluviais e espalhado pelo vento, acumulando-se muitas vezes junto ao pé do talude. Usualmente, encontravam-se à entrada da lixeira, do lado Sul, depósitos de entulho. De acordo com as visitas efectuadas ao local, não se constaram escorrências de águas lixiviantes, mesmo em épocas chuvosas, o que se pode dever ao facto dos resíduos aí depositados terem sido maioritariamente queimados. Também não se verificaram cheiros intensos indicadores de formação de biogás.

Estima-se que, ao longo do período de 1982 a 1997, se tenham depositado cerca de 103 707 toneladas de RSU's nesta lixeira. Esta estimativa foi efectuada pela Conegil, em 1998, aquando da elaboração da “Memória Descritiva” da referida lixeira. Esta estimativa foi elaborada com base na população servida pela lixeira e na respectiva captação de RSU.

Após o encerramento da lixeira, os trabalhos de recuperação ambiental e selagem tiveram início em Agosto de 1998. Estes decorreram de modo semelhante aos efectuados na Lixeira de Braga (ver quadro 1).

Realizou-se assim, numa primeira fase, a regularização do local, por forma a suavizar o declive do terreno, e posteriormente efectuou-se a cobertura dos resíduos depositados com uma camada de terras de cerca de 10 cm, de modo a evitar-se o seu espalhamento. As obras foram concluídas com a selagem final de toda a área, incluindo topo e talude.

Nesta lixeira não se encontram instaladas quaisquer tipo de infraestruturas para captação de águas pluviais nem para captação e tratamento de lixiviados e queima de biogás, uma vez que estes são praticamente nulos, pelas razões já acima referidas.

A Lixeira da Póvoa de Lanhoso não se encontra vedada, possuindo apenas na zona inferior do talude uma vedação para protecção da encosta ao espalhamento dos resíduos. A envolvente da lixeira encontra-se preenchida com mato rasteiro.

2.3 – GEOMORFOLOGIA REGIONAL

O relevo da **região do Minho** enquadra-se no contexto mais vasto do relevo do Noroeste da Península Ibérica, residindo na oposição entre relevos elevados e vales cavados. As mais altas cotas correspondem a planaltos descontínuos, preservados no topo de blocos individualizados, podendo atingir-se altitudes da ordem dos 1500 m. Os vales desenham um reticulado rígido, que sugere o controlo por fracturas. São profundos, de fundo largo e aplanado, seguindo orientações preferenciais, embora apresentem contornos sinuosos (Cabral, 1992).

Segundo Ferreira (1983), a principal particularidade do relevo do Minho ocidental, entre o litoral e as altas serras interiores, resulta sobretudo da fisionomia dos seus vales principais, sensivelmente paralelos e de direcção geral NE-SW a ENE-WEW, que se apresentam, por isso, aparentemente inadaptados à estrutura geológica regional, disposta segundo a orientação varisca NW-SE a NNW-SSE, interceptando-a perpendicularmente. Estes vales são mais abertos a jusante, dissipando-se em superfícies estuarinas. A montante, no sopé ocidental das mais altas montanhas do interior, os rios correm apertados entre vertentes abruptas com leitos profundos em V fechado (Lima, 2001).

No que diz respeito às principais formas de relevo ocorrentes nesta região podemos agrupá-las em *formas estruturais* (escarpas de falha e vales de fractura), *formas fluviais* (predominantemente formas de erosão), *formas de vertentes e interflúvios* (alvéolos), *formas litorais e plataforma continental* (Ferreira, 1981).

Os fenómenos de erosão diferencial, embora não possam ser desprezados, têm uma importância geomorfológica muito reduzida. Pelo contrário, o papel da fracturação é essencial (Coudé-Gaussen, 1980). Com efeito, e segundo Ferreira (1981), sistemas de desligamentos tardi-hercínicos tiveram grande importância na disposição dos volumes montanhosos, uma vez que muitos deles rejogaram durante os movimentos alpinos. As principais direcções tectónicas são ENE-WSW a E-W, N-S e, com menor frequência, NW-SE.

Na sequência do referido anteriormente, a **região de Braga** evidencia uma geomorfologia intensamente marcada pela fracturação e, em menor escala, pela erosão diferencial. As variações da morfologia por erosão diferencial devem-se essencialmente aos diferentes comportamentos das rochas graníticas de variadas granularidades, texturas e composição e das pequenas manchas de rochas metassedimentares presentes na área em apreço, face aos agentes de geodinâmica externos. A fracturação Hercínica NNE-SSW e NW-SE marcou também fortemente as litologias da região de Braga. Esta fracturação foi retomada mais tarde pelos movimentos Alpinos, que criaram uma rede de fracturação própria ENE-WSW. O curso dos principais rios desta região, Cávado, Ave e Este está perfeitamente controlado por esta fracturação. Também a fracturação NNW-SSE está bem expressa nos alinhamentos que condicionam os cursos de água (Ferreira *et al.*, 2000). Do ponto de vista orográfico, o sector este e sul da região em causa é montanhoso, com relevos acima dos 400 metros, destacando-se, a sul, a plataforma em que assenta a cidade de Braga, 200 metros acima do vale do Cávado, na qual corre o pequeno rio Este, afluente do Ave. Este passa mais a sul, em zona montanhosa, ora encaixado, ora em vale aberto (Ferreira *et al.*, 2000).

No sector noroeste os relevos são baixos, raramente ultrapassam os 200 m. Contrariamente ao que se verifica no sector montanhoso, onde o encaixe dos rios é bem expressivo, aqui os grandes rios circulam em leitos relativamente abertos. “Esta superfície aplanada corresponderá a uma superfície de aplanção Plio-Quaternária, definida no Baixo Minho, que penetra ao longo dos rios principais, neste caso o Cávado” (Ferreira, *et al.* 2000).

As zonas graníticas são especialmente ricas em aspectos morfológicos de pequena, média e grande escala: tors, penhas, pias e escudelas lapidares. Também na Póvoa de Lanhoso se destaca com imponência um monólito granítico (Ferreira *et al.*, 2000).

“A morfologia é, assim, extremamente contrastante, alterando zonas baixas, alvéolos de erosão às vezes amplos, e vales fluviais, entre relevos alterosos, sobre cujas vertentes e lombas se alcandoram povoações e casais e se localizam campos agrícolas, dispostos em escadaria, dando à paisagem aspectos imponentes e inconfundíveis” (Teixeira *et al.*, 1973).

A - ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL

A área correspondente ao Aterro Sanitário da Braval (ASB) alonga-se transversalmente à linha de cumeada da Serra do Carvalho, aproximadamente orientada segundo E-W, que constitui um interflúvio granítico, com altitudes que alcançam cotas superiores a 490 m. A altitude do relevo diminui de Nordeste para Sudoeste e de Norte para Sul (Figura 5) (Gomes *et al.*, 1996).

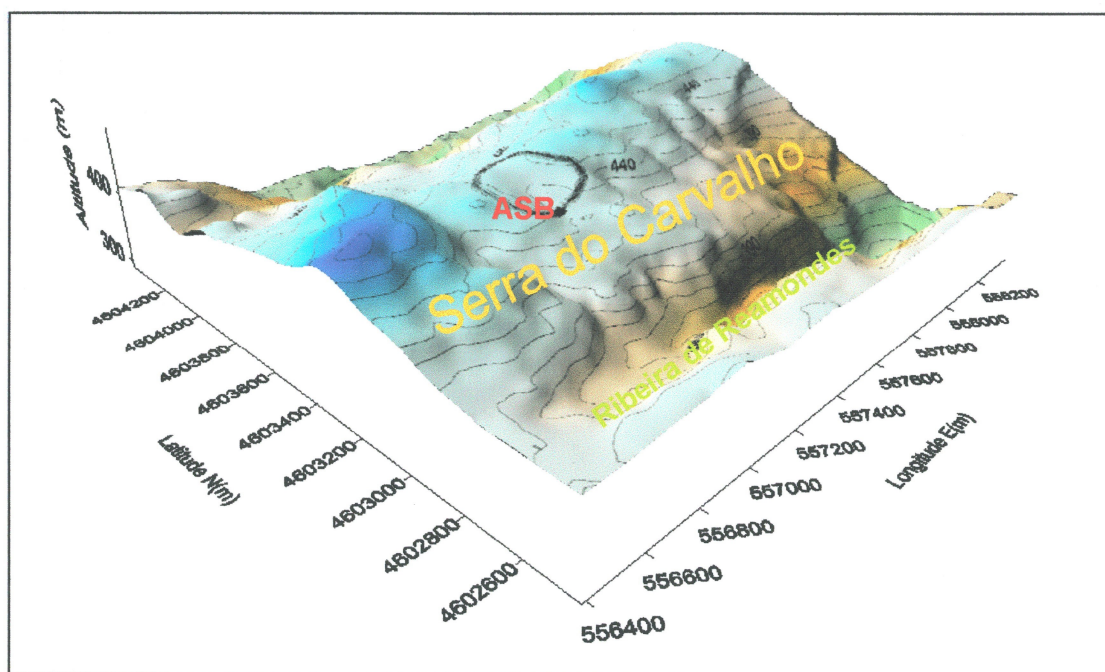


Figura 5 – Geomorfologia da área envolvente do ASB.

Trata-se de um relevo persistente delimitado a Norte pelas escavações do vale de Covelas-Ferreiros-Geraz do Minho e a Sul pelo talvegue correspondente à Ribeira de Reamondes. Este talvegue representa o principal colector da drenagem sul, subterrânea, atribuível à zona onde se encontra instalado o ASB. A ribeira que o expressa capta as escorrências da vertente respectiva (Gomes *et al.*, 1996).

Assim, a Serra do Carvalho, juntamente com a Serra de São Mamede de Penafiel, a NE, dividem as bacias hidrográficas do Ave e do Cávado. As suas vertentes viradas a Norte descarregam para a bacia do Cávado, enquanto que as vertentes viradas a Sul descarregam para o Rio Ave (Ferreira *et al.*, 2000).

B - LIXEIRA DE BRAGA

A Lixeira de Braga situa-se no topo de uma elevação próxima do povoado de Paço (Figura 6).

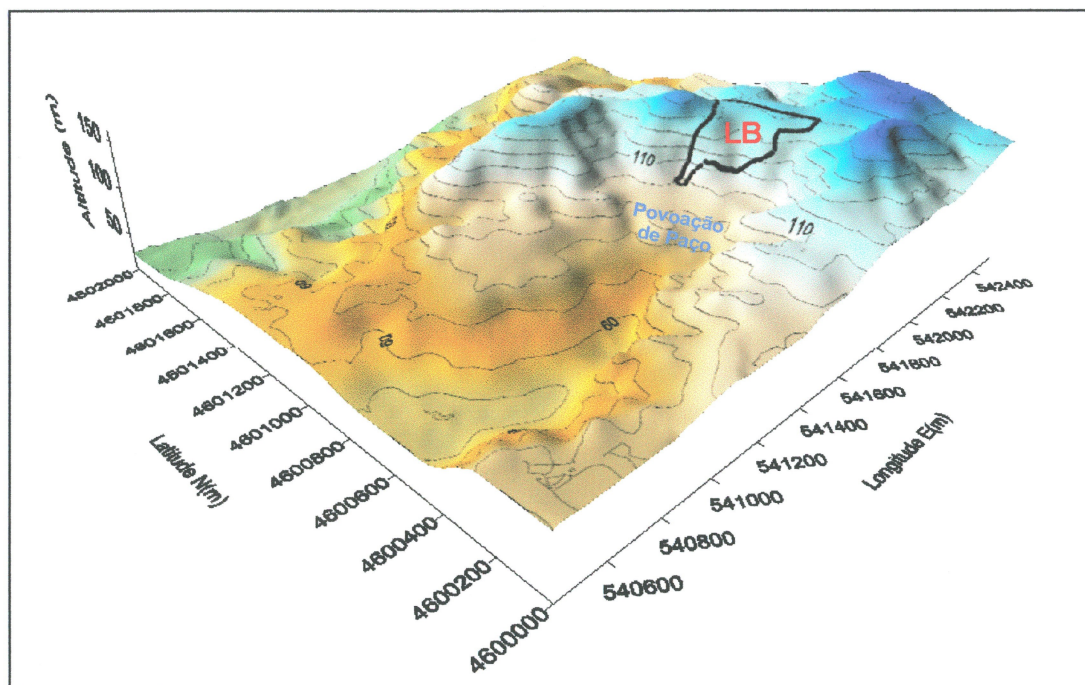


Figura 6 – Geomorfologia da área envolvente da Lixeira de Braga (LB).

O local da lixeira insere-se numa zona relativamente acidentada, com elevações cujos taludes chegam a atingir pendores superiores a 45%, alternando com vales

relativamente encaixados até próximo das cotas dos 70 a 80 metros, abaixo das quais os vales são mais abertos e planos.

A lixeira desenvolve-se ao longo da vertente SW da referida elevação até ao seu topo, localizando-se na bacia de drenagem de uma pequena linha de água afluente do rio Cávado.

C - LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO

Do ponto de vista morfológico, a Lixeira da Póvoa de Lanhoso situa-se no topo de uma elevação sobranceira à vila da Póvoa de Lanhoso. Aquela desenvolve-se em grande parte no bordo terminal da vertente SW da elevação, prolongando-se por um pequeno planalto no topo da mesma (Figura 7).

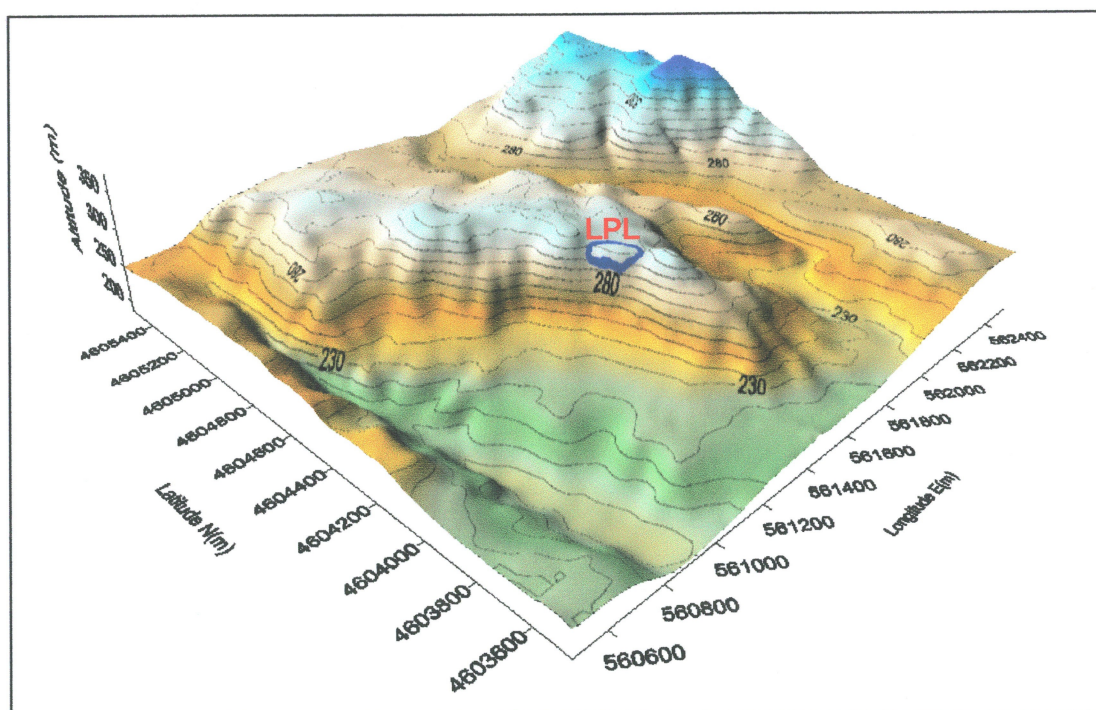


Figura 7 – Geomorfologia da área envolvente da Lixeira da Póvoa de Lanhoso (LPL).

2.4 - GEOLOGIA

A **região de Braga** compreende essencialmente **formações graníticas de idade Hercínica** e, com menor expressão, **metassedimentos do Paleozóico**, ocupando o sector NW da região sob a forma de pequenos retalhos dispersos nos granitos. Estão também presentes alguns **depósitos de cobertura plio-pleistocénicos** que ocorrem, quer preservados em depressões tectónicas, quer como terraços fluviais, essencialmente ligados aos grandes rios que cortam a região, Cávado e Ave, bem como algumas **aluviões actuais** (Figura 8) (Ferreira *et al.*, 2000).

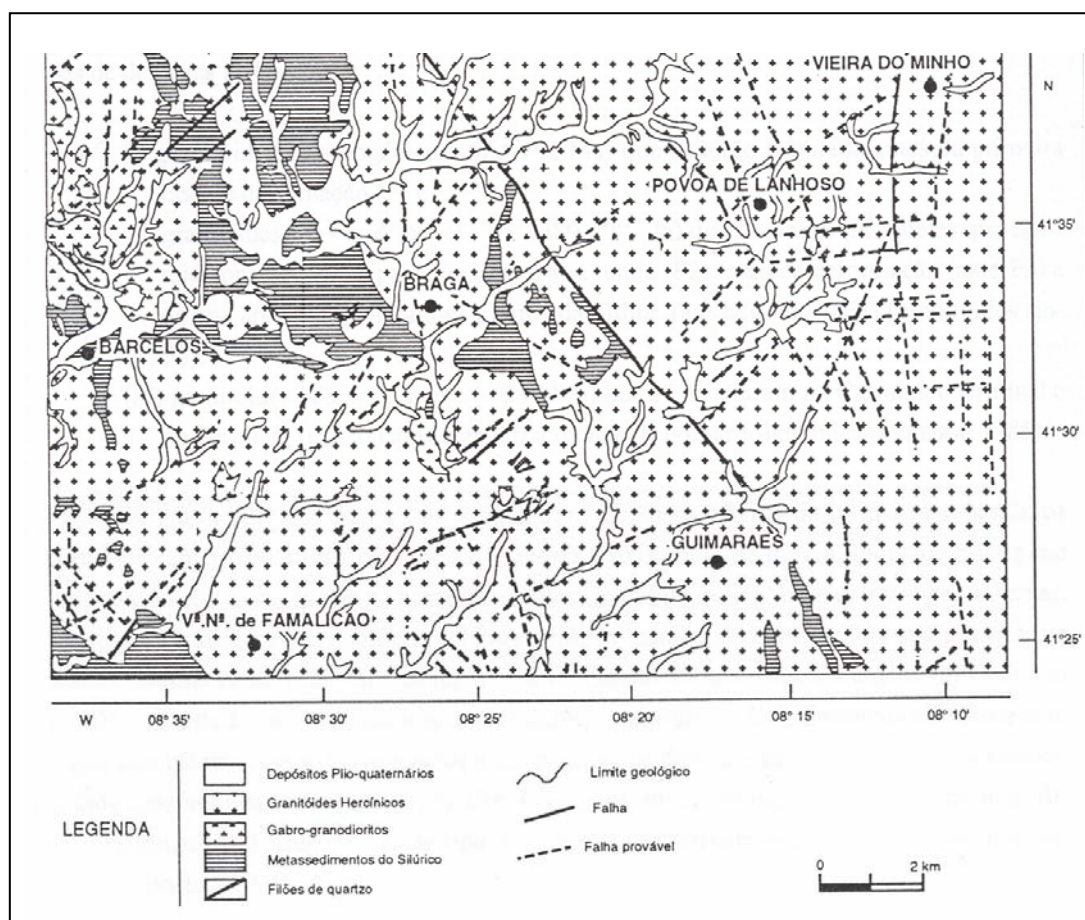


Figura 8 – Enquadramento geológico da região de Braga (elaborado com base na folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000) (Pereira, coord., 1989).

Rochas graníticas Hercínicas

A área que enquadra as zonas em estudo compreende essencialmente rochas graníticas, que ocupam mais de 80% da área aflorante. Estes granitóides apresentam textura e composição variáveis, ocorrendo por vezes associados a rochas de composição básica e intermédia. Distribuem-se paralelamente à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua ou à fracturação tardi-hercínica. Instalaram-se de forma sucessiva durante as últimas fases de deformação hercínica (dúctil-F₃ e frágil-F₄), pelo que se consideram três grupos (Ferreira *et al.*, 1987; Dias *et al.*, 1998): (1) **granitóides sin-F₃** (320-310 Ma) - granitos de Gondizalves, Vila Verde e Sameiro; (2) **granitóides tardi-F₃** (310-305 Ma) - complexos graníticos de Celeirós, Póvoa de Lanhoso e Braga; (3) **granitóides tardi a pós-F₃** (=300 Ma) - granito de Briteiros.

Daremos especial destaque às rochas graníticas tardi-tectónicas (relativamente a F₃), mais especificamente aos complexos graníticos da Póvoa de Lanhoso e de Braga, uma vez que aí se encontram o Aterro Sanitário da Braval e a Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Formações Metassedimentares

Ainda que a rocha granítica seja predominante nesta área existem, contudo, diversas manchas de metassedimentos. Estas surgem principalmente no sector ocidental da Região de Braga, a oeste do cisalhamento dúctil Vigo-Régua, sendo mais escassas ou inexistentes para leste deste acidente.

A mancha maior, com cerca de 45 Km², faz parte de uma área de metassedimentos mais vasta, que se estende de Ponte de Lima para sul, até às proximidades de Braga e Barcelos, abrangendo deste modo uma das áreas em estudo – a Lixeira de Braga. Outras manchas mais significativas, são as que ocorrem a E e SE de Braga.

Definem-se assim três unidades: unidade de Cabreiros (**autóctone**) separada da unidade de Tibães (**parautóctone**) pelo carreamento do Monte da Graça e uma unidade **alóctone**, assinalada pelo carreamento maior da Quinta do Souto (Ferreira *et al.*, 2000).

Depósitos de cobertura

Os depósitos considerados de cobertura, distribuídos principalmente na região noroeste de Braga, correspondem a unidades atribuídas ao **Pliocénico**, ao **Quaternário antigo** e ao **Actual e Holocénico**.

Os depósitos que se incluem na unidade do Pliocénico correspondem a depósitos fluvio-lacustres (areias e argilas com esmectites); por outro lado, os depósitos fluviais (areias caulínicas), cobertos ou não por depósitos de solifluxão e vertente, caracterizam a unidade do Quaternário antigo. O Actual e Holocénico, por sua vez, agrupam um conjunto dos depósitos fluviais actuais, depósitos de solifluxão e vertente e depósitos fluviais não actuais (Ferreira *et al.*, 2000).

A - ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL

O ASB encontra-se localizado entre dois importantes talwegues: as escavações do vale de Covelas-Ferreiros-Geraz do Minho, a Norte, e do talvegue correspondente à Ribeira de Reamondes, a Sul. Estes talwegues, como se pode verificar na figura 9, marcam dois importantes acidentes tectónicos, com um azimute geral, N85°E (Gomes *et al.*, 1996):

- “a N – **acidente do dolerito Norte** – cicatrizado pela intrusão de um extenso filão dolerítico e manifestando faixas de hidrotermalização ferralítica (tendencialmente episienítica) em torno de alinhamentos cataclásticos silicificados do granito;”
- “a S – **acidente da Ribeira de Reamondes** – com rupturas localmente cicatrizadas por veios de quartzo e por vezes descontinuidades com enchimento argiloso.”

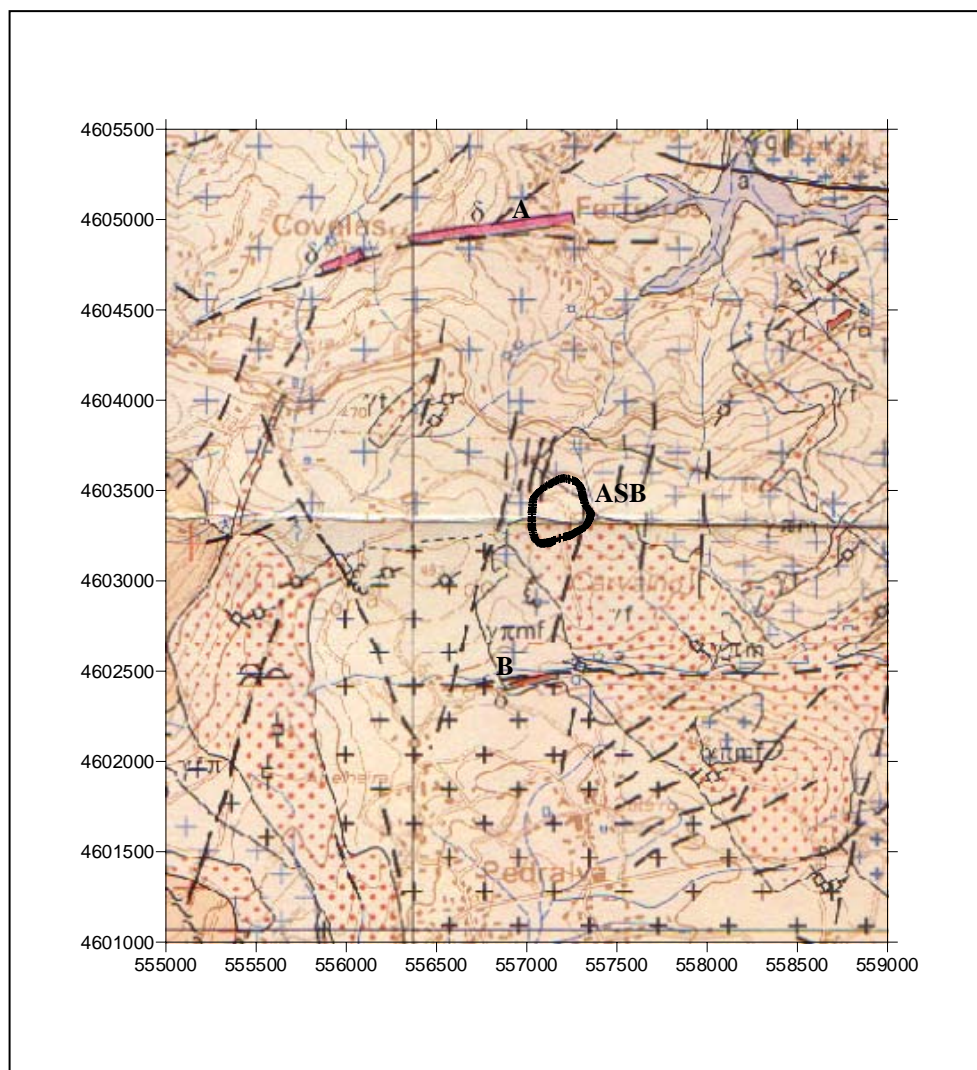


Figura 9 - Enquadramento geológico do ASB (elaborado com base na Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D – Braga à escala 1/50 000, Ferreira *et al.*, 2000 e em Gomes *et al.*, 1996). A – Acidente do dolerito Norte; B – Acidente da Ribeira de Reamondes. (ver legenda no quadro 6).

O ASB assenta sobre dois tipos distintos de granitóides: um granitóide tardi- F_3 , denominado **Complexo Granítico de Braga**, mais especificamente sobre a fácies granítica $Ymf\pi$ - **Granito de Braga** e um granitóide tardi a pós- F_3 designado por **Granito de Briteiros (Yf)**:

- **Granito de Braga - $Ymf\pi$** - monzogranito de duas micas, essencialmente biotítico, de grão médio a fino e tendência porfiróide. Os fenocristais (feldspato potássico), com tendência euédrica, apresentam um aspecto alongado. O granito de Braga apresenta numerosos encraves de diversos tipos, sendo os mais abundantes os microgranulares máficos. Para além destes, contém igualmente

encraves metassedimentares de dimensão variável, contendo geralmente andalusite no seu interior, e pequenos encraves micáceos com andalusite e silimanite (Ferreira *et al.*, 2000).

- **Granito de Briteiros - Yf** – Esta rocha corresponde a um leucogranito moscovítico-biotítico de grão fino. A concentração de moscovite por vezes é bastante significativa (9-12%), ocorrendo geralmente em grandes placas de dimensão que pode atingir alguns milímetros. Apresenta também quartzo (31-33%), feldspato potássico (22-26%), plagioclase (24-29%; An 10-13) e biotite (3-9%) e, em menor escala, ilmenite, apatite, zircão, monazite, anatase e silimanite. Ocasionalmente são visíveis pequenas “rosetas” de agregados de turmalina. São frequentes os encraves metassedimentares (Ferreira *et al.*, 2000).

A composição petrográfica e mineralógica destes dois granitos, bem como a sua composição em elementos maiores, menores e vestigiais encontra-se descrita mais pormenorizadamente nos quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro 2 - Características petrográficas e mineralógicas dos Granitos de Braga e Briteiros
(adaptado de Ferreira *et al.*, 2000).

| | GRANITO DE BRAGA - Granitóide Tardi-F3 - | GRANITO DE BRIEIROS - Granitóide Tardi a Pós-F3 - |
|--------------------------|--|---|
| Tipo petrográfico | Monzogranito biotítico | Leucogranito moscovítico-biotítico |
| Textura | Tendência porfiróide, grão médio a fino | Grão fino |
| Quartzo | 22-28 | 31-33 |
| Plagioclase | 28-36 | 24-29 |
| (%An) | (19-36) | (10-13) |
| Feldspato K | 22-31 | 22-26 |
| Moscovite | < 4 | 9-12 |
| Biotite | 10-19 | 3-9 |

Quadro 3 – Composição dos Granitos de Braga e Briteiros em elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm) ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$ = ferro total sob a forma de Fe_2O_3) (adaptado de Ferreira *et al.* 2000).

| | | GRANITO DE BRAGA - Granitóide Tardi-F3 - | | GRANITO DE BRITEIROS - Granitóide Tardi a Pós-F3 - | |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---------------|---|----------------|
| | | Amostra A9.59 | Amostra A4.48 | Amostra ST9.66 | Amostra ST9.36 |
| Elementos maiores (%) | SiO_2 | 64.96 | 69.03 | 72.18 | 72.57 |
| | Al_2O_3 | 15.13 | 14.34 | 14.66 | 14.53 |
| | $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$ | 4.94 | 3.24 | 2.20 | 1.16 |
| | MnO | 0.07 | 0.06 | 0.02 | 0.03 |
| | MgO | 1.61 | 0.86 | 0.51 | 0.22 |
| | CaO | 2.77 | 1.61 | 0.68 | 0.36 |
| | Na_2O | 2.95 | 3.00 | 2.95 | 3.27 |
| | K_2O | 4.72 | 5.47 | 5.49 | 4.76 |
| | TiO_2 | 0.96 | 0.66 | 0.29 | 0.11 |
| | P_2O_5 | 0.40 | 0.35 | 0.39 | 0.34 |
| Elementos menores (%) | Ba | 938 | 599 | 243 | 153 |
| | Rb | 252 | 361 | 411 | 464 |
| | Sr | 299 | 176 | 59 | 43 |
| | Cr | 28 | 10 | 26 | 10 |
| | Zr | 308 | 209 | 116 | 44 |
| | Y | 28 | 23 | 9 | 5 |
| Elementos vestigiais (ppm) | La | 71.31 | 55.81 | 27.37 | 11.48 |
| | Ce | 146.18 | 119.58 | 62.50 | 30.90 |
| | Nd | 60.62 | 45.59 | 28.10 | 9.32 |
| | Sm | 10.63 | 8.86 | 6.36 | 2.39 |
| | Eu | 1.59 | 1.24 | 0.53 | 0.33 |
| | Gd | 7.33 | 6.28 | 4.61 | 1.69 |
| | Dy | 4.77 | 4.54 | 2.25 | 0.91 |
| | Er | 2.32 | 2.06 | 0.82 | 0.60 |
| | Yb | 1.96 | 1.76 | 0.61 | 0.55 |
| | Lu | 0.30 | 0.20 | 0.13 | 0.12 |

Relativamente ao estado de alteração, e segundo um estudo geológico efectuado por Gomes *et al.* (1996) à área do Aterro Sanitário da Braval, os litótipos aí presentes evidenciam o perfil típico de meteorização dos granitos em clima temperado - arenização. As possanças da porção superficial arenizada variam pouco com a modificação do litótipo de suporte.

No sector oriental da área registam-se brechas de falha com possanças da ordem dos 2 metros. Os clastos são graníticos e o enchimento é argiloso (montmorilonite), assumindo por vezes o aspecto de um cimento onde, a par da montmorilonite, também pode surgir o quartzo (Gomes *et al.*, 1996).

Ao nível de densidade de fracturação distinguem-se claramente os diferentes azimutes de ruptura (Gomes *et al.*, 1996):

- “*Direcções próximas de N5°W* – frequentemente definem-se corredores de deformação com múltiplas rupturas paralelas, com azimute idêntico a este, continuando a existir entre os corredores uma forte densidade de fracturação”.
- “*Direcções próximas de N7°E* – existem várias falhas com brechas e enchimentos de natureza hidrotermal, com esta direcção, mas é pequena a densidade de fracturação com esta atitude fora da proximidade das grandes falhas”.
- “*Direcções próximas de N65°E* – a fracturação adensa-se em determinados locais chegando a esboçar-se corredores paralelos a esta atitude. Fora da zona de influência destas faixas deformacionais a fracturação é pouco densa”.

B - LIXEIRA DE BRAGA

A Lixeira de Braga assenta sobre uma das mais amplas manchas metassedimentares que caracterizam a região de Braga (Figura 10), estando abrangida por **terrenos autóctones** (**D_{SO}** – **Formação de Sobrado** (Silúrico Superior – Devónico Inferior)) e **parautóctones** (**S_{UM}** – **Unidade do Minho Central e Ocidental** (Silúrico)). Estes dois terrenos encontram-se separados pelo carreamento do Monte da Graça que se estende desde as regiões mais a norte, com rumo a NW-SE, até Mire de Tibães, rodeando e fechando a SE o autóctone (Ferreira *et al.*, 2000).

Na Formação de Sobrado (“Grauvaques do Sobrado”) ocorre a alternância de **grés** e **xistos argilosos**. Os grés apresentam-se com espessuras de alguns metros, de granularidade muito fina, micáceos, cinzentos. Quando alterados evidenciam tons avermelhados devido à presença de Fe, desagregando-se facilmente numa fina areia. Na Unidade do Minho Central e Ocidental predominam os **quartzofilitos**, **micaxistos** e **quartzitos**. Os níveis pelíticos, são os que se apresentam mais alterados, sendo muito raro encontrar afloramentos frescos. Quando são, apresentam regra geral, cor cinzenta;

com a alteração, adquirem, tal como o grés, cores desde o castanho amarelado, até ao vermelho (Ferreira *et al.*, 2000).

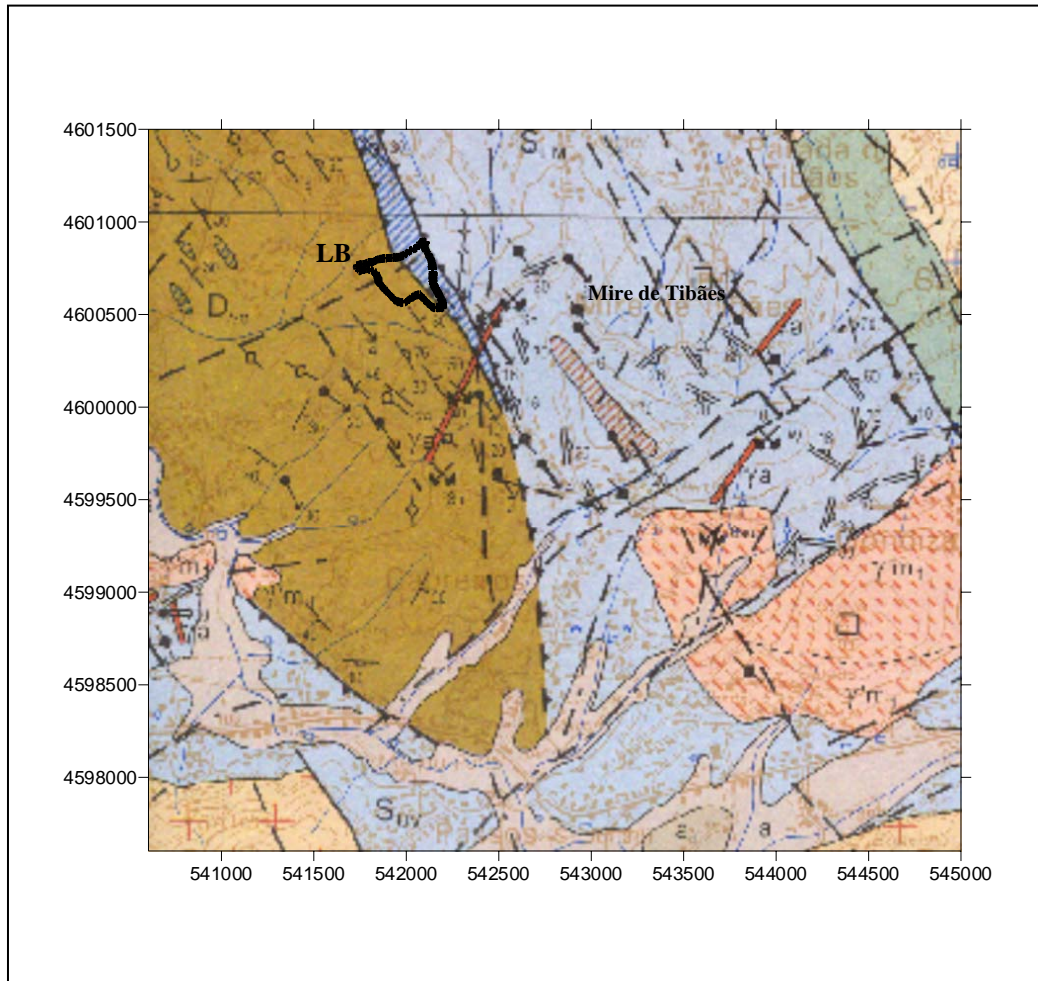


Figura 10 – Enquadramento geológico da Lixeira de Braga (LB) (elaborado com base na Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D – Braga à escala 1/50 000) (Ferreira *et al.*, 2000). (ver legenda no quadro 6).

C - LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO

A Lixeira da Póvoa de Lanhoso encontra-se sobre um granitóide tardi-F3, denominado **Complexo Granítico da Póvoa de Lanhoso**, mais especificamente sobre a fácies granítica *Y_{mn}* – **Granito de Agrela** (Figura 11).

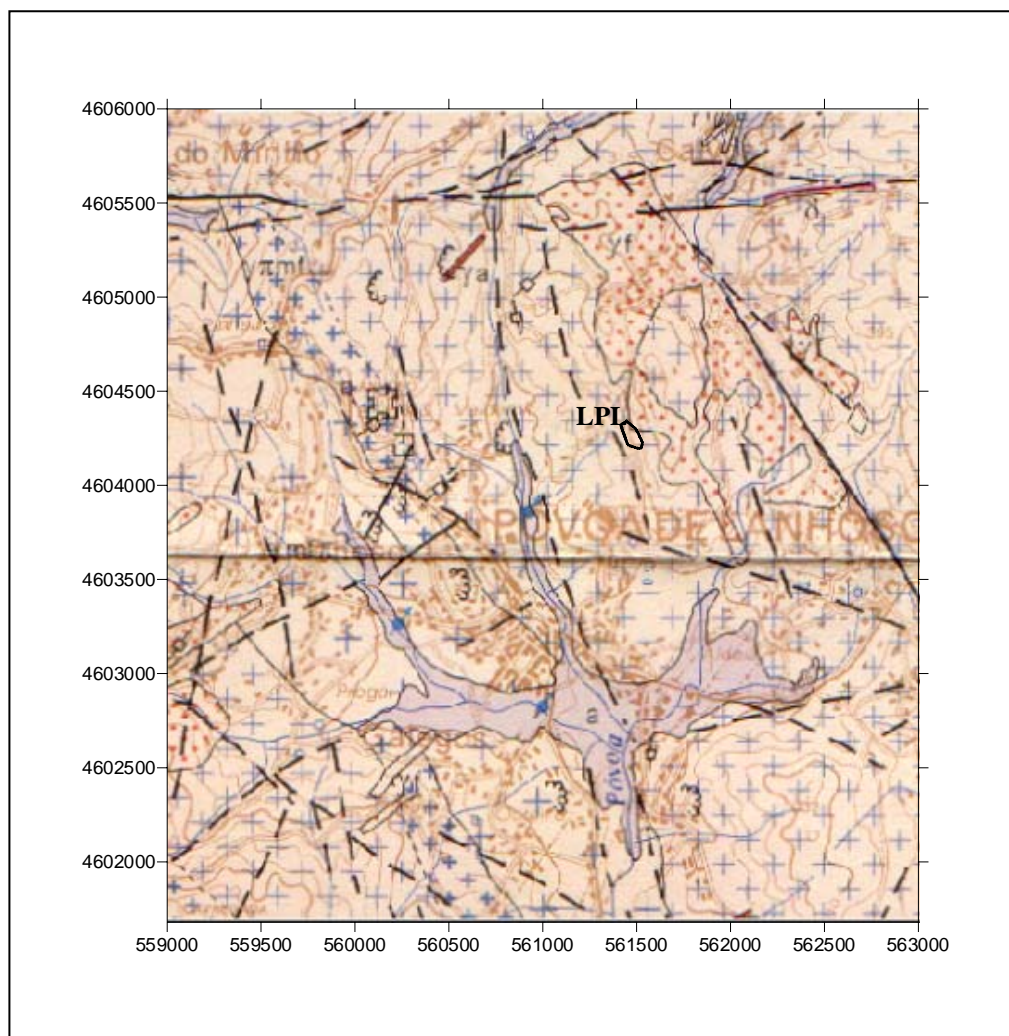


Figura 11 - Enquadramento geológico da Lixeira da Póvoa de Lanhoso (LPL) (elaborado com base na Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D – Braga à escala 1/50 000) (Ferreira *et al.*, 2000). (ver legenda no quadro 6).

O granito de Agrela forma uma grande mancha com disposição NW-SE. Contacta, no sector NE, com outro granito tarditectónico relativamente a F_3 , o granito de Celeirós, que faz parte do denominado Complexo Granítico de Celeirós, e no sector SW com granitos do já abordado complexo Granítico de Braga (Ferreira *et al.*, 2000).

Segundo o mesmo autor, o granito de Agrela corresponde a um monzogranito biotítico com rara moscovite, porfiróide, de grão médio. Apresenta normalmente megacristais de feldspato potássico (ortoclase ou microclina) que evidenciam, em termos genéricos, um alinhamento coincidente com a orientação geral da mancha, o que define uma orientação de fluxo. O quartzo é abundante. A cordierite é frequente,

ocorrendo em pequenos cristais prismáticos. Contem ainda plagioclases (oligoclase / andesina), ilmenite, apatite, zircão, monazite e torite. Possui abundantes encraves microgranulares máficos, metassedimentares e raros encraves micáceos.

Os quadros 4 e 5 apresentam, respectivamente, a composição petrográfica e mineralógica do Granito de Agrela e a sua composição em elementos maiores, menores e vestigiais.

No Granito de Agrela ocorrem filões de quartzo rondando a direcção dos mais expressivos entre ENE-WSW, surgindo alguns como preenchimentos de grandes falhas (Ferreira *et al.*, 2000).

Relativamente ao estado de alteração e segundo Conegil (1998), aquando da selagem desta lixeira, identificou-se um horizonte de granitos muito alterados a decompostos, observando-se com frequência blocos graníticos remanescentes, medianamente alterados, de grandes dimensões. A espessura de alteração das formações graníticas deverá atingir a dezena de metros, estimativa deduzida das observações de cortes do terreno existentes na zona.

Quadro 4 – Características petrográficas e mineralógicas do Granito de Agrela
(adaptado de Ferreira *et al.*, 2000).

| | GRANITO DE AGRELA - Granitóide Tardi-F3 - |
|--------------------------|---|
| Tipo petrográfico | Monzogranito biotítico |
| Textura | Porfiróide, grão médio |
| Quartzo | 26-28 |
| Plagioclase (%An) | 33-36 (22-37) |
| Feldspato K | 19-23 |
| Moscovite | < 3 |
| Biotite | 13-17 |

Quadro 5 – Composição do Granito de Agrela em elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm)
 ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$ = ferro total sob a forma de Fe_2O_3) (adaptado de Ferreira *et al.*, 2000).

| | | GRANITO DE AGRELA - Granitóide Tardi F3 - | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------|
| | | Amostra A9.92 | Amostra PL9.130 |
| Elementos maiores (%) | SiO₂ | 65.82 | 70.20 |
| | Al₂O₃ | 14.61 | 14.30 |
| | Fe₂O_{3t} | 4.50 | 3.27 |
| | MnO | 0.06 | 0.03 |
| | MgO | 1.47 | 0.80 |
| | CaO | 2.54 | 1.66 |
| | Na₂O | 2.97 | 3.04 |
| | K₂O | 4.54 | 4.97 |
| | TiO₂ | 0.81 | 0.54 |
| | P₂O₅ | 0.44 | 0.26 |
| Elementos menores (%) | Ba | 732 | 581 |
| | Rb | 183 | 310 |
| | Sr | 244 | 162 |
| | Cr | 35 | 24 |
| | Zr | 257 | 214 |
| | Y | 25 | 18 |
| Elementos vestigiais (ppm) | La | 67.90 | 49.92 |
| | Ce | 130.22 | 97.86 |
| | Nd | 58.49 | 44.51 |
| | Sm | 10.98 | 8.73 |
| | Eu | 1.45 | 1.21 |
| | Gd | 7.41 | 6.32 |
| | Dy | 4.87 | 4.56 |
| | Er | 2.41 | 2.08 |
| | Yb | 1.93 | 1.89 |
| | Lu | 0.33 | 0.33 |

Quadro 6 – Legenda da Carta Geológica de Portugal, Folha 5-D – Braga à escala 1/50 000 (Ferreira *et al.*, 2000).

| SINAIS CONVENCIONAIS | | | |
|----------------------|----------------------------|--|--|
| | Limite geológico | | Mamoa que cobre monumento megalítico |
| | Limite geológico gradativo | | Campo fortificado, recinto amuralhado, "oppidum", castro |
| | Limite geológico provável | | Ponte medieval |
| | Falha | | Castelo |
| | Falha provável | | Ruínas de "Bracara Augusta" |
| | Falha oculta | | Sepultura escavada na rocha |
| | Carreamento | | Pedreira |
| | Carreamento provável | | Exploração mineira abandonada ou suspensa: |
| | Zona de cisalhamento | | Sn (Estanho) |
| | | | W (Tungsténio) |
| | | | Caul (Caulino) |
| | | | Poço |
| | | | Nascente de água |
| | | | Nascente de água minero-medicinal |
| | | | Furo de captação de água |
| | | | Sondagem |

| FILÕES E MASSAS | |
|-----------------|---|
| | Filões e massas aplíticas e/ou pegmatíticas |
| | Filões doleríticos |
| | Filões de quartzo |

| DEPÓSITOS DE COBERTURA | |
|------------------------|--|
| Actual e Holocénico | Depósitos fluviais actuais Depósitos de solifluxão e vertente (Depósitos de cascalho / blocos e seixos angulosos). Depósitos fluviais, não actuais |
| Quaternário Antigo | Depósitos fluviais (areias caulínicas: Prado, Cruto e Ucha), cobertos ou não por depósitos de solifluxão e vertente |
| Pliocénico | Depósitos fluvio - lacustres (areias e argilas c/ esmectites: Formação de Prado) |

| DEPÓSITOS DE COBERTURA | |
|------------------------------------|---|
| Alcôtone | Unidade de Vila Nune |
| Silúrico inf. | Micaxistos e migmatitos com níveis de turmalinitos (*) |
| Landoveriano | Tufos vulcânicos ácidos e intermédios (**) intermédios a básicos skarnificados (anfíbolitos) (***) |
| CARREAMENTO MAIOR (QTª DO SOUTO) | |
| Parautoctone | Unidade do Minho Central e Ocidental |
| Silúrico | Alternância de quartzofilitos e micaxistos; quartzitos (*) e turmalinitos (**) |
| CARREAMENTO MENOR (MONTE DA GRAÇA) | |
| Autoctone | Formação de Sobrado ("Grauvasques de Sobrado") |
| Devónico inf. Silúrico sup. | alternância de xistos, siltitos e grés castanho-avermelhados (*) |

| ROCHAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS | |
|------------------------------------|---|
| Tardi a Pós-Tectónicas relat. a F3 | Leucogranito moscovítico-biotítico, de grão fino (Granito de Briteiros) |
| Complexo Granítico de Braga | Monzogranito de duas micas, com tendência porfíroide, de grão fino (Granito de Gonça) |
| | Monzogranito biotítico, com rara moscovite, tendência porfíroide, de grão médio a fino (Granito de Braga) |
| | Granodioritos, quartzomonzodioritos e monzodioritos, de grão fino e médio. Gabronoritos de grão médio (*) |
| Tarditectónicas relat. a F3 | Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfíroide, de grão médio a fino (Granito de Pousadela) |
| | Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfíroide, de grão médio (Granito de Agrela); com frequentes grãos de quartzo globular (*) |
| | Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfíroide, de grão grosseiro (Granitos de Celeirós e Vieira do Minho). Fácies de bordadura, porfíroide de grão médio (*) |
| Complexo Granítico de Celeirós | Granodioritos e quartzomonzodioritos, de grão fino a médio (Granodioritos de Figueiredo) |
| | Granodiorito - monzogranito, biotítico, porfíroide, de grão médio, orientado, com grandes megacristais de feldspato potássico (Granito do Sameiro) |
| Sintectónicas relat. a F3 | Granito de duas micas, de grão médio, orientado (Granito de Vila Verde) |
| | Granito de duas micas, de grão médio (Granito de Gondizalves). Fácies predominantemente moscovítica de grão fino (*) |

2.5 – ASPECTOS CLIMÁTICOS GERAIS

Portugal Continental, apesar da sua extensão relativamente pequena, tem um clima que varia significativamente de região para região e de local para local. As principais causas dessa variação são o relevo, a latitude, a distância ao mar e, para as regiões da faixa litoral, a orientação dominante da linha de costa (I.M., 2003).

A classificação climática de Portugal, e de qualquer outra região, pode ser feita com base em diversos critérios, nomeadamente a radiação solar, a temperatura do ar e a precipitação. No entanto, seguindo a classificação de Strahler (1978, em Strahler e Strahler, 1994), baseada em massas de ar e sistemas frontais, o continente português, e consequentemente a **região de Braga**, enquadra-se nos “*climas de latitudes médias*” (definido por Strahler como *grupo II*). Estes climas encontram-se em áreas de intensa colisão entre massas de ar contrastantes – designadas de *Zona da Frente Polar*. Aqui, as massas de ar tropicais que rumam para Norte colidem com as massas de ar polares que se dirigem para Sul, provocando depressões ondulatórias contínuas com deslocamento para leste.

Dada a latitude da região de Braga, e segundo o mesmo autor, esta pode ainda ser inserida num subgrupo grupo climático denominado “*clima marítimo de costa oeste*” (clima húmido da faixa ocidental setentrional). Este clima húmido apresenta precipitação abundante em todos os meses do ano, sendo os máximos registados no Inverno. Tal acontecimento deve-se ao facto das regiões estarem expostas aos ventos de oeste que transportam perturbações ciclónicas com massas de ar húmido e frio. Nos locais mais montanhosos, o efeito da orografia faz-se sentir através da ocorrência de abundantes precipitações anuais (Strahler e Strahler, 1994).

2.5.1 – PRECIPITAÇÃO

A distribuição da precipitação na **região de Braga**, segundo estudo efectuado por Lima (2001), está fortemente condicionada pela *altitude* e pela *exposição geográfica*, o que para mais fácil visualização foi representada sob a forma de um mapa de isoietas (Figura 12).

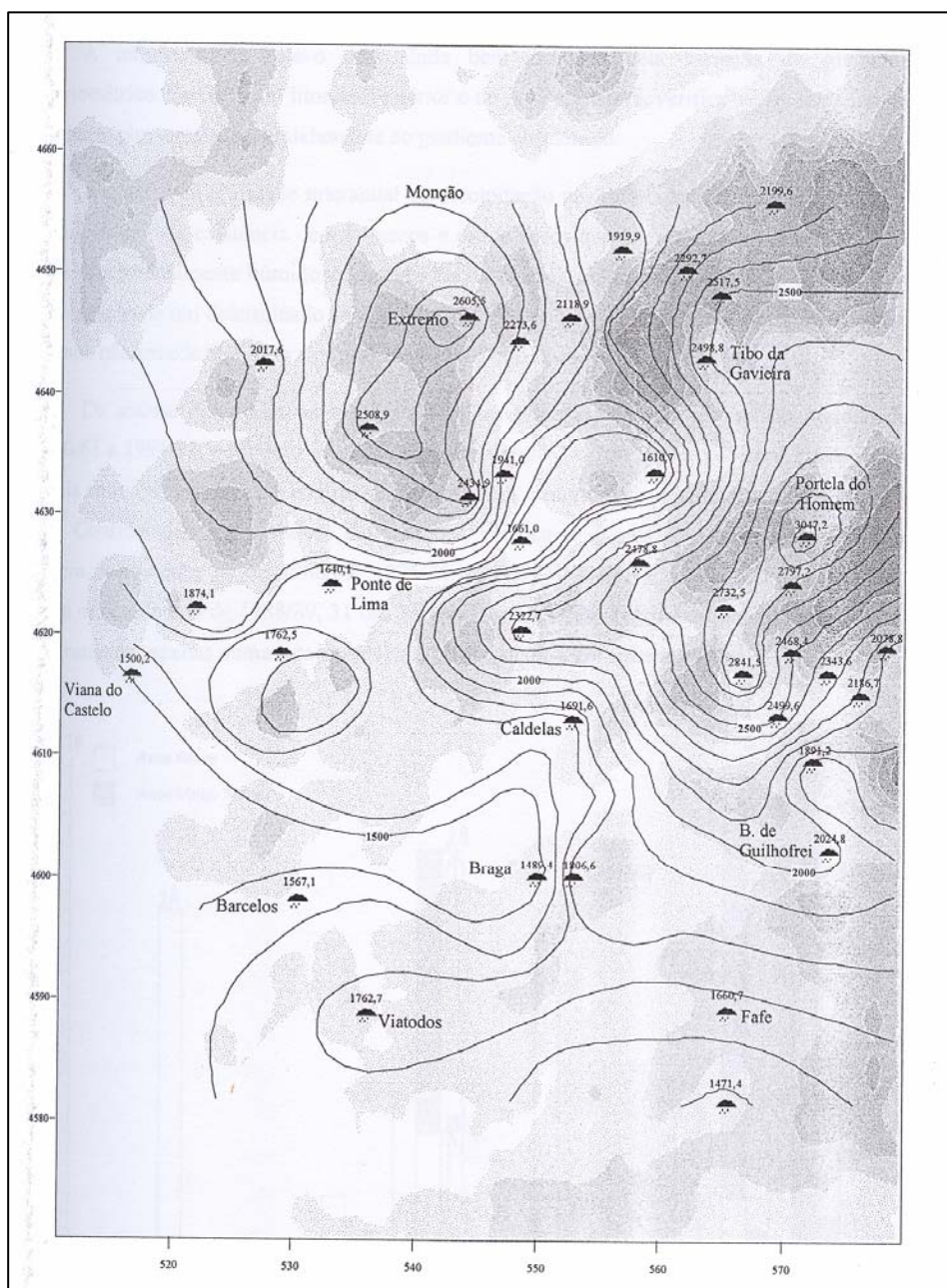


Figura 12 – Mapa de isoietas da região do Minho (equidistância de 100 mm; coordenadas quilométricas UTM, fuso 29, datum europeu) (adaptado de Lima, 2001).

Verifica-se, deste modo, que a precipitação aumenta com a altitude (de SW para NE) e apresenta certa tendência a diminuir de NW para SE, se se compararem estações situadas a cotas semelhantes. O aumento da precipitação de SW para NE pode ser explicado pelo deslocamento de massas de ar húmido oriundas de Sul e SW e dirigindo-se para Leste ou para NE que, ao entrarem em contacto com obstáculos topográficos, ascendem, provocando fortes precipitações. Estas massas de ar húmido são as responsáveis pela maior parte da precipitação no Minho (Lima, 2001). Nesta região, os

sectores ocidentais possuem uma precipitação média anual em torno de 1500 mm, que aumenta progressivamente para o interior montanhoso de acordo com um gradiente médio de 103 mm/100 m, podendo-se atingir valores superiores a 3000 mm/ano (Lima, 2001).

No que respeita à distribuição intra-anual da precipitação, verifica-se que os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro são os mais pluviosos. Com efeito mais de 40% da precipitação anual cai ao longo destes meses (Lima, 1994). Esta regularidade por vezes é interrompida pela elevada precipitação registada no mês de Maio, o que, segundo Ribeiro *et al.* (1988), se explica pela instalação de pequenas depressões locais, devido ao aquecimento desigual do solo, as quais originam, aqui e ali, perturbações atmosféricas responsáveis por fortes trovoadas, acompanhadas de copiosos aguaceiros. O mês de Junho é já um mês de Verão, com pluviosidade reduzida, e os meses de Julho e Agosto são os meses de menor precipitação, não excedendo o seu contributo, no conjunto, 3.5% da precipitação anual (Lima, 2001). A precipitação que ocorre nestes meses explica-se pela influência esporádica de depressões atlânticas em deslocamento para leste (Ribeiro *et al.*, 1988).

2.5.2 – TEMPERATURA DO AR

A temperatura é um dos parâmetros mais comuns da informação climática. Há um ritmo diário de aumento e descida das temperaturas, idêntico ao ritmo das estações. Há também uma variação dos valores médios da temperatura desde as latitudes equatoriais até às polares, e das superfícies continentais às oceânicas. São os denominados **regimes térmicos** (Strahler e Strahler, 1994).

O ritmo climático anual na maior parte do **território português** depende sobretudo da repartição da precipitação e, em menor escala, das oscilações térmicas. O ciclo anual da temperatura é uma consequência do movimento de translação da terra em volta do sol, em que a inclinação do eixo terrestre gera variações anuais das temperaturas dando origem às estações climáticas. Além deste ritmo astronómico, a variabilidade climática, sob o ponto de vista térmico, é função da latitude e da altitude. No hemisfério norte, o efeito da altitude é mais pronunciado que no hemisfério sul,

devido à concentração das massas continentais (Ribeiro *et al.*, 1988). A definição de um gradiente térmico vertical, por comparação de estações próximas, carece de consistência uma vez que, segundo Ribeiro *et al.* (1988), a intensidade do frio e do calor, avaliados, respectivamente, pelos mínimo e máximo médios, em Portugal, mostram-se “quase independentes da altitude”. Esta, mostra contudo algum efeito térmico para cotas superiores a 600 metros.

A **região de Braga** enquadra-se num clima de tipo marítimo e pertence à chamada “Fachada Atlântica”, delimitando-se a NE por zonas montanhosas de clima diferenciado. A pequena distância que a separa do litoral proporciona uma importante influência marítima, denotada, a nível térmico, pelo baixo grau de continentalidade (5-10%) (Ribeiro *et al.*, 1988).

Segundo Lima (2001), com base nos dados de temperatura da estação climatológica de Braga (Posto Agrário), relativos ao período de 1960/61 a 1989/90, o valor médio anual da temperatura na região de Braga ronda os 14,2 °C. O mês mais frio é Janeiro e o mais quente, Julho. O ciclo anual de temperatura mostra um aumento gradual deste parâmetro climático a partir de Janeiro e prolonga-se até Julho, ocorrendo então uma diminuição até Janeiro. Entre os meses de Maio e Junho e de Outubro e Novembro, a variação da temperatura média do ar é mais acentuada, o que leva a maiores amplitudes térmicas médias nesses meses. Nos meses em que se verifica uma redução significativa da precipitação, Julho e Agosto, a temperatura atinge o seu máximo anual.

O comportamento descrito, segundo o mesmo autor, parece estar dependente essencialmente da altitude, definindo-se, regionalmente, um gradiente térmico de -5,0 °C/Km. No entanto, até aos 70-80 metros, a temperatura mostra-se praticamente independente da altitude.

Embora a caracterização da temperatura tenha sido efectuada com base em dados meteorológicos relativos à estação climatológica de Braga/Posto Agrário, estação mais próxima da Lixeira de Braga, podemos alargar esta caracterização ao ASB e à Lixeira da Póvoa de Lanhoso, visto que a temperatura apresenta uma maior estabilidade espacial e temporal e uma maior previsibilidade, quando comparada com a precipitação. Este procedimento será tomado também relativamente à evapotranspiração e à infiltração.

2.5.3 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Em condições de campo não é possível separar totalmente a evaporação da transpiração, pelo que as perdas de água para a atmosfera estão normalmente englobadas num fenómeno designado de **evapotranspiração**. Naturalmente que a aplicação correcta deste conceito a uma determinada área, pressupõe a existência de vegetação (Lencastre e Franco, 1992).

A evapotranspiração é importante na determinação da quantidade de água que circula nos solos. A relação entre a evapotranspiração e a precipitação determina se os sais solúveis no solo vão ser lixiviados (se a precipitação for superior à evapotranspiração) ou se estes vão ser precipitados à superfície (se a evapotranspiração for superior à precipitação). Este facto assume uma certa importância, uma vez que num ambiente lixiviante (precipitação superior à evapotranspiração) os contaminantes solúveis tenderão a mover-se para a zona saturada (Boulding, 1995).

Na **região de Braga**, admite-se que a percentagem de precipitação efectivamente perdida por evapotranspiração seja elevada uma vez que uma percentagem considerável desta área está coberta de pinhal e eucaliptal e, em menor proporção, por caducifólias.

Segundo o estudo efectuado por Lima (2001), a região de Braga apresenta uma evapotranspiração potencial (ETP), calculada a partir do método de Penman, de 967 mm. Considerando este valor da ETP, e estimando-se uma capacidade de campo de 100 mm, obtêm-se uma evapotranspiração real de 741,1 mm.

Na figura 13 apresenta-se um mapa com a distribuição da evapotranspiração real (ETR) média anual da região do Minho, onde se pode observar que o valor deste parâmetro climático diminui no sentido SW-NE, pelo que a influência da temperatura é mais marcada que a da precipitação. Com efeito, enquanto esta aumenta de Oeste para Este, aquela diminui no mesmo sentido, o que significa que, ainda no mesmo sentido, ocorre um aumento dos excedentes hídricos, ou seja do escoamento total (Lima, 2001).

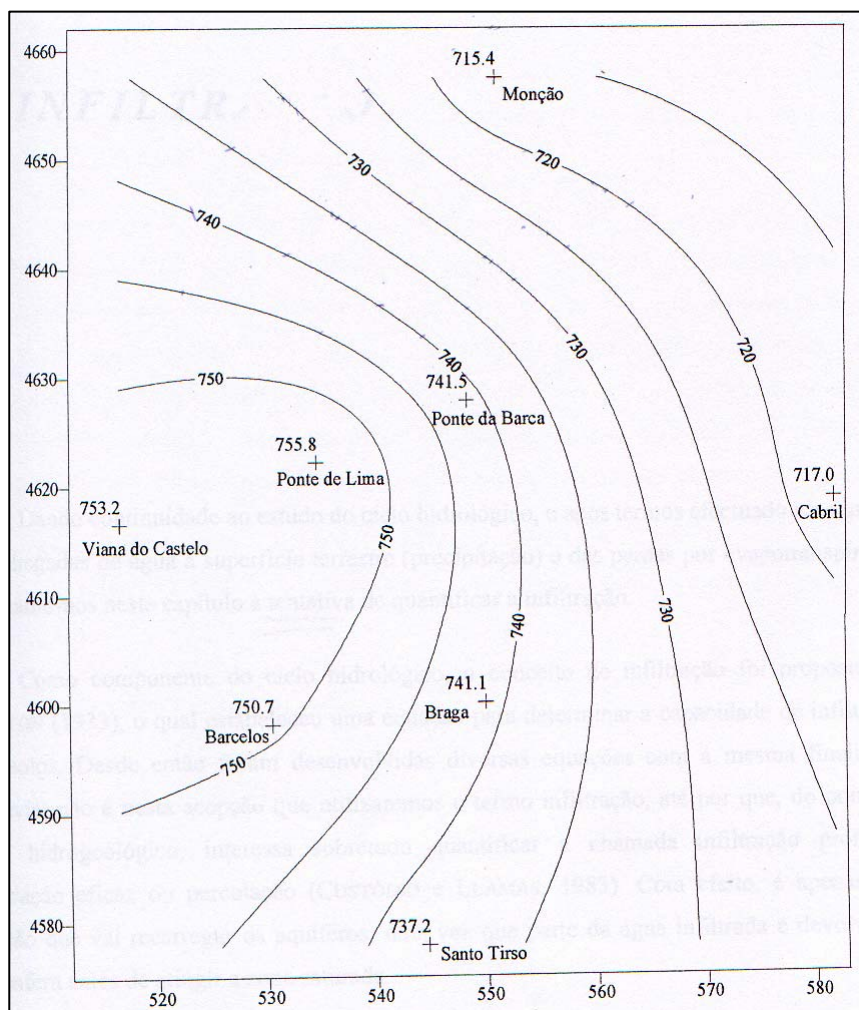


Figura 13 – Evapotranspiração real média anual na região do Minho (valores em mm; referência quilométrica UTM, fuso 29, datum europeu) (adaptado de Lima, 2001).

2.5.4 – INFILTRAÇÃO

A maior parte dos solos no seu estado natural, não alterado, estão capacitados para a absorção de água proveniente das chuvas fracas a moderadas. Este processo de absorção designa-se por **infiltração**. Este conceito, como componente do ciclo hidrológico, foi proposto, em 1933, por Horton. Segundo este autor, “a capacidade de infiltração de um solo corresponde à quantidade máxima de água da chuva que o mesmo pode absorver em determinadas condições”. A partir desse valor máximo, a água não se infiltra, e começa o escoamento superficial. O máximo do valor da intensidade da chuva que o solo pode absorver sem se iniciar o escoamento superficial é a **capacidade de infiltração do solo** (Lencastre e Franco, 1992).

Há dois grupos de factores que influenciam a infiltração: (i) factores relacionados com as características do terreno (textura, humidade do solo, espessura da camada saturada; compactação, cobertura vegetal, etc.) e (ii) factores específicos da água (Custódio e Lamas, 1983).

Quando a chuva atinge a superfície do solo, parte dela, ou toda, penetra no solo, quer por força da gravidade, dirigida para baixo, tanto mais facilmente quanto maior for o diâmetro dos poros, quer por efeito de capilaridade, que se faz sentir tanto mais quanto menores forem os poros; a capilaridade é dirigida verticalmente (para cima e para baixo), e lateralmente (Lencastre e Franco, 1992).

Segundo Lencastre e Franco (1992), a infiltração compreende três processos interdependentes: a entrada de água através da superfície do solo, o seu armazenamento e o movimento através do solo. Quando o teor de água no solo atinge a capacidade de campo, o seu escoamento dirige-se para baixo, sob a acção da gravidade, alimentando a zona saturada. Esta parte do processo de infiltração designa-se **infiltração eficaz**, **percolação** ou **infiltração profunda**.

No estudo hidrogeológico realizado por Lima (2001), no qual nos temos baseado para efectuar a caracterização climática da região em apreço, considerou-se que em termos médios, a recarga aquífera da **região de Braga** deveria rondar 30% da precipitação.

2.6 - HIDROGEOLOGIA

A hidrogeologia de uma dada região é caracterizada fundamentalmente pela sua hidrografia, relevo, cobertura vegetal, clima e geologia. Entre estes é de primordial importância a geologia que condiciona todos os outros factores com excepção do clima. Assim, o tipo de rocha de uma dada região, o nível de fracturação e alteração que essa apresenta condicionam de forma significativa a hidrogeologia da mesma. Deste modo, a hidrogeologia da **região de Braga** será fortemente condicionada pelas formações graníticas e metassedimentares que a caracterizam, bem como os seus estados de fracturação e alteração.

Os granitóides apresentam, normalmente, porosidades primárias e permeabilidades extremamente baixas, sendo consideradas rochas impermeáveis. Determinações laboratoriais efectuadas por Alves *et al.* (1993) em rocha sã do **granito de Braga**, revelam valores de porosidade inferiores a 1% e permeabilidades muito baixas. No entanto, estas rochas, dada a sua fragilidade, apresentam vulgarmente redes de fracturas bem desenvolvidas, o que faz com que passem a possuir boa capacidade de armazenamento. Através das fracturas, pode desenvolver-se uma permeabilidade apreciável que, determinada no campo em grandes volumes de rocha, pode ser 1000 vezes superior à determinada em laboratório em amostras não fracturadas (Davis e DeWiest, 1966).

As fracturas das rochas são muitas vezes preenchidas por **corpos filonianos**, sendo estas estruturas importantes sob o ponto de vista hidrogeológico. A sua instalação, normalmente associada a esforços de regime distensivo, poderá ser um primeiro elemento indicativo da presença e orientação de fracturas de descompressão, as quais poderão formar importantes reservatórios de água subterrânea. Além deste aspecto, os próprios filões, podem, quando fracturados, constituir aquíferos apreciáveis. A orientação geral dos filões na região de Braga, NE-SW a ENE-WSW, sugere que os alinhamentos com aquela direcção correspondem a fracturas de tensão. As principais linhas de água e outras secundárias que percorrem aquela área assumem também a mesma orientação, pelo que provavelmente estarão associadas a zonas de falha, conferindo-lhes elevada permeabilidade. Desta forma, a recarga dos aquíferos pode, em parte, ser feita a partir dos cursos de água que seguem o traçado daquelas falhas (Lima, 2001).

No que diz respeito às áreas em estudo, de acordo com Gomes *et al.* (1996), a área do **ASB**, não só pelas características geomorfológicas, mas também pela grande densidade de fracturação e pela existência de uma camada superficial arenizada constitui uma importante zona de recarga. Este local situa-se numa linha de divergência do escoamento com direcção geral próxima de E-W, o qual se efectua para Norte e para Sul desta. O escoamento para Norte faz-se para um afluente do Rio Cávado, enquanto para Sul se processa para a Ribeira de Reamondes (Gomes *et al.*, 1996).

A **Lixeira de Braga**, tal como já foi referido, assenta sobre duas formações metassedimentares: Unidade do Minho Central e Ocidental e a Formação do Sobrado.

Segundo Datageo (2000), a zona de alteração do maciço xistento da Lixeira de Braga deverá constituir localmente um aquífero livre, com uma espessura limitada a uma ou duas dezenas de metros. Este aquífero poderá eventualmente prolongar-se a maior profundidade na zona pouca alterada, onde a percolação se deverá processar através do sistema de fracturação do maciço.

A espessura do aquífero livre, correspondente à zona de alteração do maciço xistento, deverá permitir uma recarga relativamente rápida durante o período húmido do ano, principalmente nas zonas onde ocorre maior número de intercalações de quartzo e, consequentemente, uma subida do nível freático. A profundidade a que este se encontra varia ao longo do ano, encontrando-se bastante próximo da superfície durante épocas de grande pluviosidade, e a maior profundidade durante o período de estiagem.

Pelo facto da Lixeira de Braga se situar numa área elevada e com infiltração relativamente rápida das chuvas no sector mais alterado do maciço xistento, parece constituir uma zona de recarga do aquífero (Datageo, 2000).

Por sua vez, a **Lixeira da Póvoa de Lanhoso**, assente sobre um granito relativamente alterado, com filões de quartzo algo fracturados, apresenta por estes motivos uma elevada permeabilidade. Estas características, principalmente a alteração da superfície rochosa, estão, provavelmente, atenuadas em profundidade. Tal como na Lixeira de Braga, também na Lixeira da Póvoa de Lanhoso, devido à alteração e à fracturação do granito e consequente rápida infiltração das chuvas, o nível freático na época seca encontra-se a maior profundidade, enquanto que na época das chuvas está mais à superfície (Conegil, 1998). As profundidades de nível em pontos de água próximos da lixeira situam-se sensivelmente entre os 2 metros e 16 metros.

3 – METODOLOGIA

3.1 - Inventário e selecção de pontos de água

3.2 - Programa de monitorização

3.3 - Colheita e preparação das amostras

3.4 - Colheita de precipitação

3.5 - Métodos analíticos

3.6 - Verificação da precisão analítica

3 – METODOLOGIA

3.1 – INVENTÁRIO E SELECÇÃO DE PONTOS DE ÁGUA

Para o estudo efectuado procedeu-se, numa primeira fase, à inventariação de pontos de água nas Lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso e no ASB. No conjunto dos três locais foram seleccionados um **total de 32 pontos de água** que nos permitiram o estudo sistemático do quimismo das suas águas. Essa selecção foi efectuada com base em algumas características físico-químicas das águas recolhidas no momento (condutividade eléctrica, temperatura, pH e potencial redox), bem como na acessibilidade e no “tipo” dos diversos pontos (nascentes, poços, furos).

A - ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL (ASB)

Os pontos de água inventariados no ASB são maioritariamente piezómetros instalados no local para a sua monitorização, à excepção de três pontos que dizem respeito a nascentes mais afastadas e a uma ribeira. A distribuição espacial desses pontos e a descrição dos mesmos encontra-se na figura 14 e no quadro 7, respectivamente.

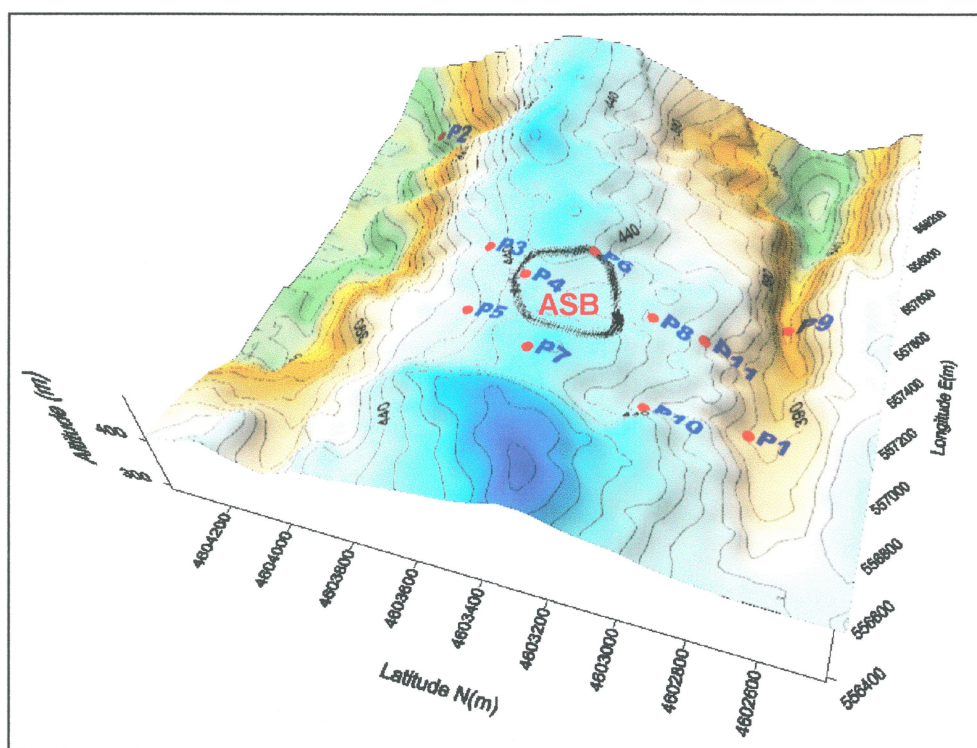


Figura 14 – Distribuição espacial dos pontos de monitorização do ASB.  - Célula de deposição de resíduos.

Quadro 7 - Descrição dos pontos de monitorização do ASB.

| Designação | Tipo | Observações |
|------------|--------------------|---|
| Ponto 1 | Piezómetro | - Localizado a Sul da Estação de Tratamento de Águas Lixiviadas; - A água percorre um tubo com 70 m de comprimento até chegar ao ponto de colheita. |
| Ponto 2 | Nascente | - Captação, sob a forma de mina, pertencente à Câmara Municipal da Póvoa de Lanhoso. Esta captação destina-se ao abastecimento de água para consumo humano. |
| Ponto 3 | Piezómetro | - Localizado no sector mais setentrional da área do ASB. |
| Ponto 4 | Piezómetro | - Localizada na zona Norte do ASB, muito próximo da célula de deposição de resíduos. |
| Ponto 5 | Captação tipo furo | - Localizada no exterior da vedação do ASB, próximo do ponto 4; - Captação de abastecimento do ASB. |
| Ponto 6 | Piezómetro | - Localizado na zona Este do ASB. |
| Ponto 7 | Piezómetro | - Localizado na zona Oeste do ASB. |
| Ponto 8 | Piezómetro | - Localizado na zona Sul do ASB, nas proximidades duma lagoa de lixiviado. |
| Ponto 9 | Linha de água | - Ribeira de Reamondes, a jusante do ASB. |
| Ponto 10 | Nascente | - Localizada na Serra do Carvalho, a 50-60m do ASB. |
| Ponto 11 | Piezómetro | - Localizado na zona Sul do ASB. |

Os piezómetros instalados no ASB apresentam todos um diâmetro de aproximadamente 150 mm e profundidade entre 50-70 m.

B – LIXEIRA DE BRAGA

No que concerne à Lixeira de Braga, seleccionámos três piezómetros de monitorização localizados no interior da mesma e também poços e furos localizados num aglomerado populacional a jusante da lixeira, designado por Paço, utilizados essencialmente para rega e consumo humano. A vertente oposta não foi tida em conta uma vez que não possui pontos de água.

A distribuição espacial destes pontos é apresentada na figura 15. O quadro 8 apresenta uma breve descrição desses pontos.

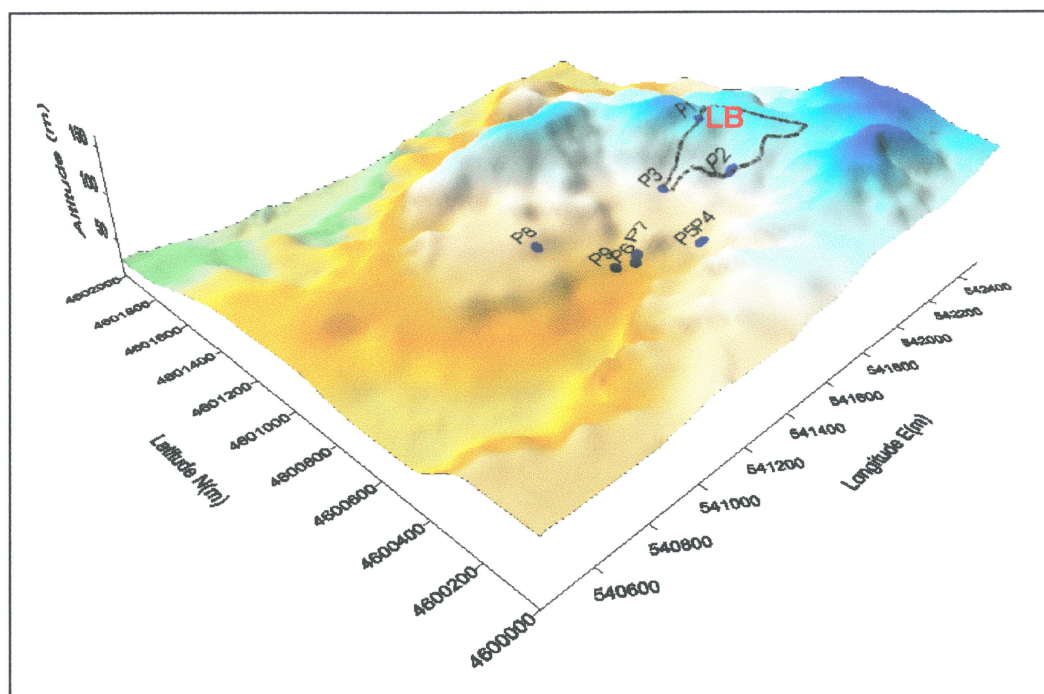


Figura 15 – Distribuição espacial dos pontos de monitorização da Lixeira de Braga (LB). - Vedação da lixeira

Quadro 8 – Descrição dos pontos de monitorização da Lixeira de Braga.

| Designação | Tipo | Observações |
|------------|------------|--|
| Ponto 1 | Piezómetro | - Localizado no limite Norte da lixeira; - Profundidade: 23 m |
| Ponto 2 | Piezómetro | - Localizado no limite Sul da lixeira; - Profundidade: 10 m |
| Ponto 3 | Piezómetro | - Localizado no limite Este da lixeira; - Profundidade: 10 m |
| Ponto 4 | Nascente | - Localizada no meio do arvored, na povoação de Paço. |
| Ponto 5 | Nascente | - Localizada no meio do arvored, na povoação de Paço, junto ao ponto 4. - Tem origem provavelmente no monte onde se localiza a lixeira. |
| Ponto 6 | Tanque | - Localizado na povoação de Paço; - A água que surge neste tanque provém de uma mina localizada no meio do arvored. |
| Ponto 7 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação de Paço; - Profundidade: 11 m |
| Ponto 8 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação de Paço; - Profundidade: 20-22 m |
| Ponto 9 | Poço | - Localizado no meio de um campo agrícola. |

C – LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO

Na “**Lixeira da Póvoa de Lanhoso**” não foram detectados quaisquer pontos de água, pelo que se empreendeu um inventário dos pontos de água na zona envolvente à lixeira. Os pontos mais próximos, constituídos por poços e furos utilizados para consumo humano, situam-se nos aglomerados populacionais existentes nas imediações. O aglomerado seleccionado para este estudo, designado por Quintã, situa-se no sopé da encosta em cujo topo se situa a lixeira.

A figura 16 apresenta a distribuição espacial dos pontos de água seleccionados.

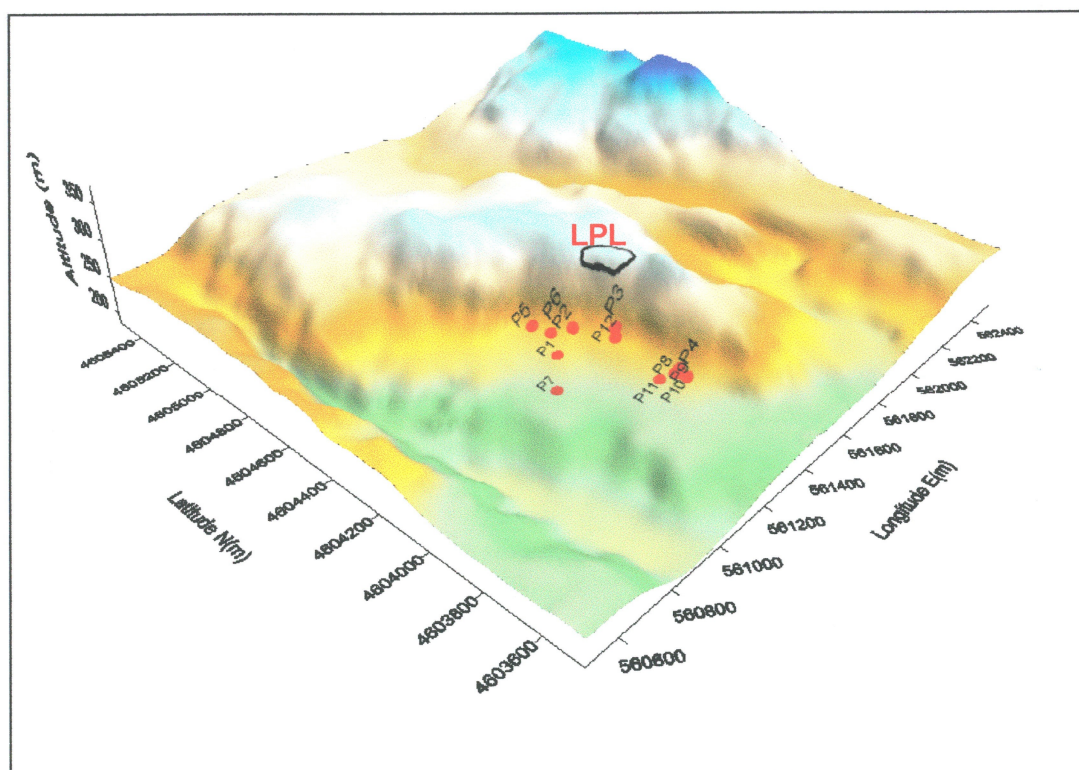


Figura 16 – Distribuição espacial dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso (LPL).



- Perímetro da área de deposição de resíduos

Tal como efectuámos para o ASB e para a Lixeira de Braga, apresentamos também de seguida, no quadro 9, uma breve descrição dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Quadro 9 – Descrição dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

| Designação | Tipo | Características |
|------------|------|--|
| Ponto 1 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 12 m; - Construído antes da selagem da lixeira. |
| Ponto 2 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 73 m. |
| Ponto 3 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Poço escavado em saibro (possui uma mina); - Profundidade: 17-18 m. |
| Ponto 4 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 11-12 m. |
| Ponto 5 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 16 m. |
| Ponto 6 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã, muito próximo do ponto 5. |
| Ponto 7 | Poço | - Localizado num campo agrícola da povoação da Quintã; - Profundidade: 6 m. |
| Ponto 8 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 40 m; - Construído após a selagem da lixeira. |
| Ponto 9 | Poço | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 13-14m. |
| Ponto 10 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 30-35m; - Construído antes da selagem da lixeira. |
| Ponto 11 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 90 m. |
| Ponto 12 | Furo | - Localizado numa habitação da povoação da Quintã; - Profundidade: 60 m. |

3.2 – PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO

O programa de monitorização foi desenvolvido entre 9 de Novembro de 2001 e 1 de Julho de 2002 com uma periodicidade quinzenal. Nesta monitorização foram medidos, no campo, em todos os pontos de água inventariados no ASB e nas Lixeiras de Braga e da Póvoa de Lanhoso, os seguintes parâmetros:

- Condutividade eléctrica, com condutivímetro WTW, modelo LF 95/SET, com sonda WTW, Tetracon 96;
- Temperatura, com termómetro digital incorporado no condutivímetro acima referido;
- pH, com medidor digital WTW, modelo pH 95 SET-1;
- Eh (potencial redox), com eléctrodo redox PT 4805/S7.

Nos pontos que apresentavam condições para tal, foi medida a profundidade do nível freático nos diversos momentos de monitorização, utilizando-se para o efeito uma sonda de nível.

Os valores registados no referido período de monitorização no ASB, na Lixeira de Braga e na Lixeira da Póvoa de Lanhoso encontram-se compilados nos anexos I, III e V, respectivamente.

Para além da medição destes parâmetros, o programa de monitorização consistiu também na colheita de amostras de água em cada ponto inventariado para posterior análise físico-química. Foram efectuadas na totalidade três campanhas em cada área de estudo, espaçadas de, sensivelmente, três meses entre si. As duas primeiras campanhas foram efectuadas em época húmida (Inverno) e a última em época seca (Verão). As datas em que estas ocorreram, assim como os pontos que foram amostrados encontram-se assinalados no quadro 10. Os resultados obtidos na análise das amostras recolhidas nas três campanhas encontram-se em anexo (Anexo II, IV e VI).

Quadro 10 – Data das colheitas, número de amostras recolhidas em cada um dos locais em estudo e pontos amostrados (ASB) - Aterro Sanitário da Braval, LB - Lixeira de Braga, LPL - Lixeira da Póvoa de Lanhoso).

| | 1ª campanha | | | 2ª campanha | | | 3ª campanha | | |
|-----|-------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------|-----------------|-------------------|
| | Data | n.º de amostras | Pontos amostrados | Data | n.º de amostras | Pontos amostrados | Data | n.º de amostras | Pontos amostrados |
| ASB | 23/11/01 | 10 | P1 a P10 | 19/02/02 | 9 | P1 a P3 P5 a P10 | 20/05/22 | 10 | P1 P3 a P11 |
| LB | 07/12/01 | 9 | P1 a P9 | 25/02/02 | 9 | P1 a P9 | 23/05/02 | 9 | P1 a P9 |
| LPL | 30/11/01 | 11 | P1 a P11 | 15/02/02 | 11 | P1 a P7 P9 a P12 | 10/05/02 | 12 | P1 a P12 |

É de salientar o facto do número de pontos amostrados variar de colheita para colheita, dentro da mesma área de estudo, o que se deve a um variado leque de situações às quais fomos alheios. Por vezes, os proprietários dos poços ou furos não se encontravam na residência no momento da colheita impedindo, deste modo, a acessibilidade ao mesmo; mudança de opinião quanto à autorização dada inicialmente para a monitorização dos referidos pontos; avarias nos sistemas de bombagem da água, etc.

No momento das colheitas, tal como ocorreu em todos os momentos da monitorização quinzenal, foram também registados os valores da condutividade eléctrica da água, temperatura, pH, Eh e profundidade do nível freático.

3.3 – COLHEITA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para as colheitas de água utilizaram-se, para cada ponto de monitorização, 2 frascos de polietileno de 100 ml. No Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho foi entregue um dos frascos de 100 ml sem qualquer tipo de tratamento prévio para determinação de alcalinidade; o segundo frasco, após ser submetido a filtração num sistema de vácuo com filtros de 0,45 μm , foi dividido por dois frascos de menores dimensões. Um deles de 50 ml, para análise de aniões (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Br^- , F^- e Cl^-) no Laboratório de Águas da Universidade do Minho e o outro, também de 50 ml, foi acidificado com ácido nítrico (65%), até $\text{pH} < 2$, para posterior envio para o Activation Laboratories no Canadá, para análise de catiões, elementos menores e elementos traço.

O processo de colheita e preparação das amostras anteriormente descrito encontra-se esquematizado no organigrama da figura 17.

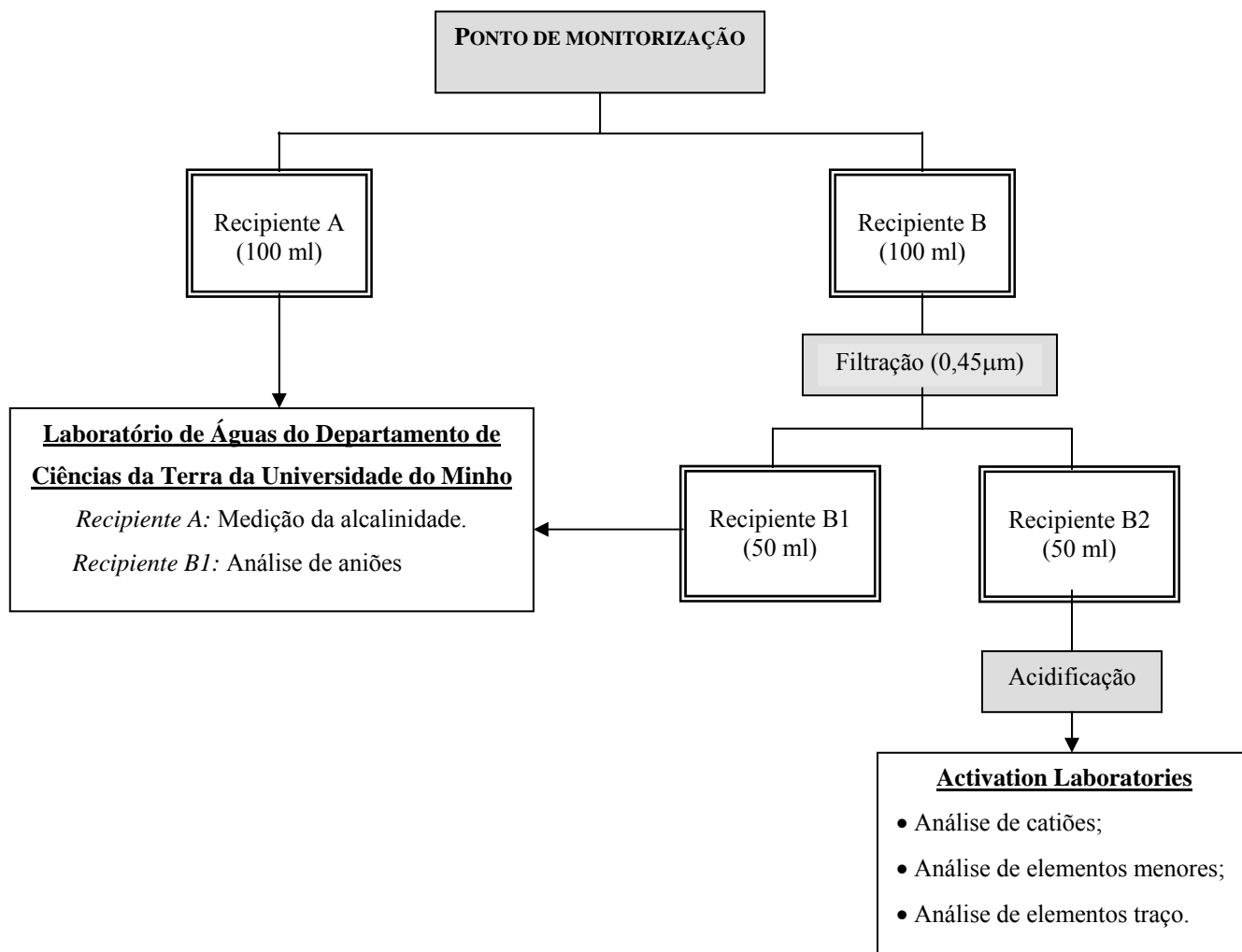


Figura 17 – Processo de colheita e preparação das amostras.

O Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, no que diz respeito às colheitas efectuadas no ASB, para além da medição de alcalinidade e análise de aniões, procedeu também à determinação dos seguintes parâmetros: cor, turvação, pH, condutividade, oxidabilidade e azoto amoniacal (NH_4^+).

Para que os valores registados no campo e para que os resultados obtidos no laboratório correspondessem o mais possível à realidade, nos momentos de medição e de recolha de amostras foram tidos alguns cuidados, tais como:

- Relativamente à *temperatura*, as medições foram efectuadas sempre com o cuidado de recolher uma amostra que representasse a temperatura da água do aquífero e não a do interior da captação ou do depósito, deixando-se para tal a água correr durante alguns minutos antes de se efectuar a medição;

- Tivemos ainda o cuidado de vedar convenientemente os frascos de recolha, com vista a reduzir a perda de gases (ex. CO₂), e enchê-los completamente, evitando a acumulação de bolhas de ar no seu interior;
- Após a recolha, as amostras foram colocadas de imediato numa mala térmica para que não estivessem sujeitas a variações significativas de temperatura;
- Logo que possível, procedeu-se à sua análise em laboratório, para que não se verificassem grandes alterações nos parâmetros a analisar;
- Relativamente às amostras que foram enviadas para o Activation Laboratories no Canadá, como estariam sujeitas a um período de espera maior, recorreu-se à sua acidificação, como já referimos, com a finalidade de estabilizar a amostra.

3.4 - COLHEITA DE PRECIPITAÇÃO

O conhecimento da composição química da precipitação numa dada região constitui um aspecto de grande importância em estudos hidrogeológicos, essencialmente no que se refere às interpretações hidrogeoquímicas, visto que as chuvas constituem uma das principais fontes de água subterrânea.

Neste sentido, foram instalados dispositivos de recolha de precipitação no ASB e nas Lixeiras de Braga e da Póvoa de Lanhoso, com o objectivo de posteriormente se avaliar a composição das precipitações em cada uma das áreas, e compará-la com a das águas.

Procurou-se fazer a sua instalação em zonas com uma elevação considerável e com pouca densidade de vegetação nas proximidades, de modo a que a recolha de precipitação ocorresse sem grandes dificuldades.

Desde o momento da instalação dos dispositivos até ao final do período de monitorização (de 3 de Abril a 1 de Julho) efectuaram-se **três campanhas de recolha de chuva** em cada uma das áreas, à excepção da Lixeira da Póvoa de Lanhoso, onde se efectuou apenas a última campanha. Tal deve-se ao facto do dispositivo instalado no local ter sido alvo de actos de vandalismo, pelo que não foi possível obter o número de amostras pretendido. A quantidade de precipitação recolhida só permitiu a determinação dos parâmetros físico-químicos analisados no Laboratório de Águas da Universidade do

Minho. Assim, as duas primeiras campanhas no ASB e na Lixeira de Braga ocorreram nos dias **29 de Março e 20 de Maio de 2002**, respectivamente; a última campanha efectuou-se, nas três áreas, no **dia 12 de Junho** daquele ano.

Para a recolha da precipitação foram utilizados dispositivos como o esquematizado na figura 18. Estes dispositivos consistem essencialmente em três partes: (i) um funil em PVC, colector da precipitação, com 0,20 m de diâmetro, (ii) um frasco, também em PVC, para armazenamento da precipitação e (iii) um recipiente, ainda em PVC, que serve de suporte e protecção aos primeiros e mantém o frasco de armazenamento com baixa luminosidade, dificultando assim o desenvolvimento de algas. Este recipiente encontra-se perfurado na parte inferior para permitir a saída de eventuais excessos de água caídos do frasco, não permitindo assim a mistura de água do recipiente com a do frasco. O funil estabelece ligação com o recipiente de armazenamento através de um tubo em PVC transparente de forma a minimizar a evaporação. O conjunto é fixo ao solo por meio de uma estaca em ferro. A parte do funil permanentemente aberta à atmosfera é protegida por uma rede de plástico, para evitar a entrada das impurezas de maiores dimensões.

Após a recolha, as amostras obtidas foram sujeitas exactamente ao mesmo tipo de análise que as restantes águas colhidas nos diferentes pontos de monitorização. Os resultados analíticos relativos à precipitação recolhida encontram-se no anexo VII.

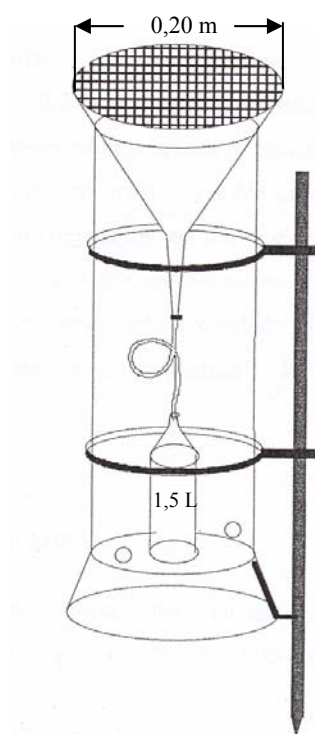


Figura 18 – Representação esquemática do dispositivo utilizado na recolha da precipitação.

3.5 – MÉTODOS ANALÍTICOS

A análise físico-química das amostras e da precipitação ficaram à responsabilidade do **Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho** e do **Activation Laboratories** no Canadá.

Os métodos analíticos utilizados pelo *Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho* foram os seguintes:

- *Cor*, por fotometria com padrões de escala;
- *Turvação*, por turbidimetria;
- *pH* e *Condutividade* por electrometria;
- *Oxidabilidade*, por oxidação com KMnO_4
- *Alcalinidade*, por titulação com H_2SO_4 , 0,1N até $\text{pH}=4,45$;
- *Aniões* (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Br^- , PO_4^{3-}), por cromatografia iónica;
- *Azoto amoniacal* (NH_4^+), por eléctrodo selectivo.

Por sua vez, o *Activation Laboratories*, para determinação de catiões, elementos menores e elementos traço recorreu a um espectómetro de emissão de plasma com espectómetro de massa acoplado (ICPMS).

3.6 – VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO ANALÍTICA

Antes de passarmos à apresentação e à interpretação dos resultados obtidos é conveniente proceder à verificação da precisão analítica, com o objectivo de avaliar a qualidade dos resultados obtidos.

A verificação da precisão analítica de amostras de água, segundo Oppenheimer e Eaton (1986), deve ser efectuada mediante as seguintes relações interparamétricas:

- balanço de cargas;
- o total de sólidos dissolvidos medido (TSDm) deve ser igual ao calculado (TSDc);
- a condutividade eléctrica medida (CEm) deve ser igual à calculada (CEc);

- a CEm deverá ser aproximadamente igual a 100 vezes a soma de catiões (ou aniões) em meq/l;
- o TSDm deverá apresentar uma determinada relação, mais ou menos constante, com a CEm;
- o TSDc deverá apresentar uma relação certa com a CEm.

A – Balanço de cargas

Relativamente ao balanço de cargas, o cálculo do respectivo erro (EBC) é feito de acordo com a seguinte expressão (Oppenheimer e Eaton, 1986):

$$EBC(\%) = \frac{\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}}{\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}} \times 100 \quad (3.6.1)$$

Os somatórios dos catiões e aniões deverão ser expressos em meq/l. Os critérios de aceitação dos resultados dependem, segundo aqueles autores, da mineralização total das águas. Assim:

- para mineralizações até 6,0 meq/l admitem-se diferenças de 0,2 meq/l entre os somatórios de catiões e aniões;
- para amostras entre 0,6 e 40,0 meq/l aceitam-se erros até 2%;
- para mineralizações superiores a 40,0 meq/l e até 1600 meq/l, os erros de balanço de cargas podem atingir 5%.

Neste estudo, para o cálculo do somatório dos catiões e dos aniões foram utilizados: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ e HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , F^- , PO_4^{2-} , respectivamente.

B – Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)

O cálculo do total de sólidos dissolvidos numa amostra é feito de acordo com a equação (Oppenheimer e Eaton, 1986):

$$TSDc(\text{mg/l}) = 0,6(\text{alcalinidade}) + \text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{NO}_3 + \text{F} + \text{SiO}_2 \quad (3.6.2)$$

A alcalinidade deve ser multiplicada por 0,6 uma vez que é expressa em mg/l de CaCO_3 . Por esta razão deveremos apenas ter em consideração o CO_3 , uma vez que o Ca é determinado separadamente.

Efectuado o cálculo do total de sólidos dissolvidos, a relação TSDc/TSDm deve situar-se entre 1,0 e 1,2.

C – Condutividade eléctrica

Segundo Greenberg *et al.*, eds. (1992), o cálculo da condutividade eléctrica para águas naturais com TSD inferior a 2500 mg/l pode ser efectuado pela expressão:

$$K_{calc} = K^0 y^2 \quad (3.6.3)$$

sendo,

K_{calc} – condutividade eléctrica calculada, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C ;

K^0 – condutividade eléctrica calculada, para uma diluição infinita, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C ;

y – coeficiente de actividade.

A condutividade eléctrica para uma diluição infinita pode ser determinada pela expressão:

$$K^0 = \sum |z_i| (\lambda_{+1}^0) (mM_i) + \sum |z_i| (\lambda_{-1}^0) (mM_i) \quad (3.6.4)$$

onde,

$|z_i|$ – valor absoluto da carga do ião i ;

mM_i – concentração milimolar do ião i ;

$\lambda_{-1}^0, \lambda_{+1}^0$ – condutividade equivalente do ião i .

Os valores da condutividade equivalente dos diferentes iões encontram-se tabelados e podem ser consultados, por exemplo, em Dean (1985).

De acordo com Rossum (1975), os contributos dos iões H^+ e OH^- só são significativos para valores de pH inferiores a 5 ou superiores a 9, respectivamente.

O coeficiente de actividade, γ , é calculado pela equação:

$$\gamma = 10^{-0,5[IS^{0,5}/(1+IS^{0,5})-0,3IS]} \quad (3.6.5)$$

A força iónica, IS , é determinada pela expressão:

$$IS = \sum z_i^2 (mM_i) / 2000 \quad (3.6.6)$$

Uma vez calculada a condutividade eléctrica, a precisão da análise é feita mediante a relação CEc/CEm , admitindo-se erros de $\pm 10\%$.

Também na relação $\frac{\sum \text{aniões ou catiões (meq/l)}}{\text{condutividade eléctrica}} \times 100$ se admitem erros de $\pm 10\%$

Segundo Oppenheimer e Eaton (1986), os valores da relação $TSDc/CEm$ estão normalmente compreendidos entre 0,55 e 0,7. Valores inferiores ao mínimo indicam que certos constituintes não doseados, como amónio ou nitrito, estão presentes em concentrações significativas, pelo que deverão ser realizadas as respectivas determinações. Valores superiores a 0,7 sugerem que houve sobreavaliação das concentrações dos diferentes constituintes, pelo que a análise deve ser repetida. Constituem excepção as águas em que o cálcio e o sulfato são os iões dominantes que, pela sua fraca dissociação, conduzem normalmente a valores de $TSDc$ da ordem de 0,8 CE. Da mesma forma, amostras de água em que a sílica representa uma fracção elevada na mineralização total, a relação TSD/CE ultrapassa frequentemente o limite superior de 0,7.

3.6.1 – BALANÇO DE CARGAS

Os gráficos 1 e 2 apresentam, respectivamente, os valores de EBC(%) e EBC (meq/l) das amostras recolhidas ao longo das três campanhas efectuadas nas áreas em estudo.

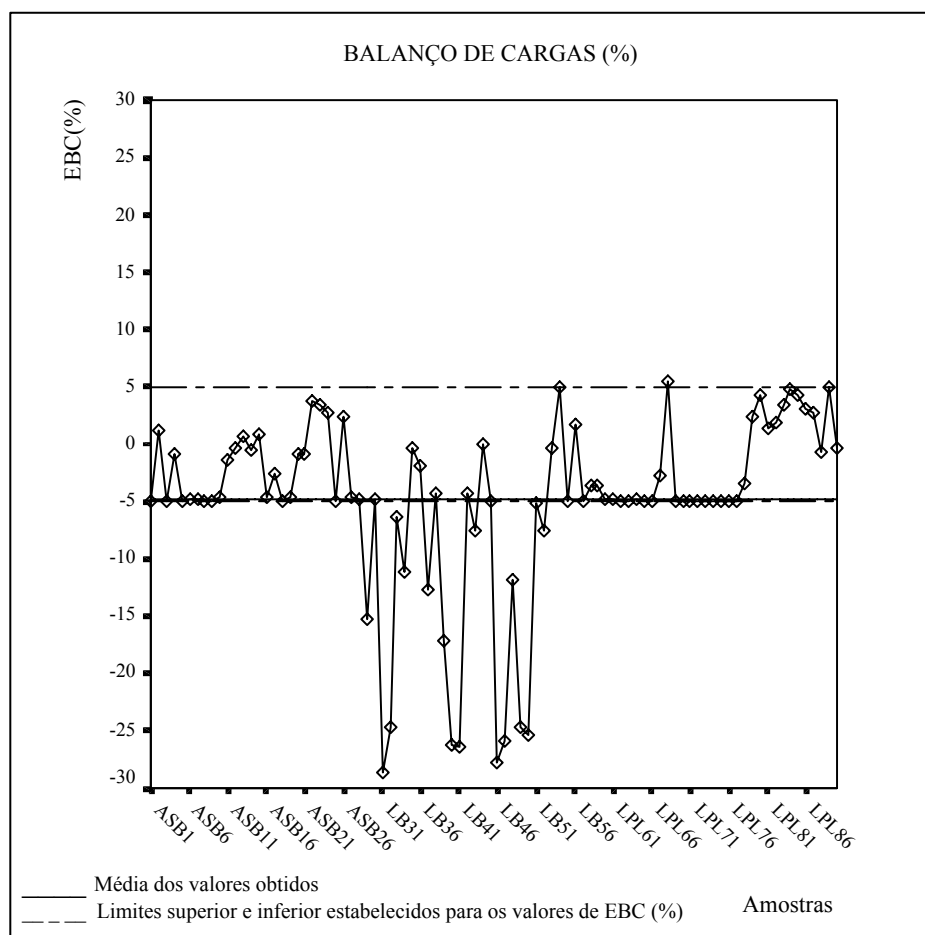


Gráfico 1 – Valores de erro de balanço de cargas (%) dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo.

No que diz respeito aos valores obtidos para o balanço de cargas (%) constatamos através do gráfico 1 que a maioria das amostras do ASB e da Lixeira da Póvoa de Lanhoso satisfazem a condição $EBC (\%) \leq 5$, à excepção das amostras referentes à 3ª campanha do ponto P11 do ASB e a amostra da 2ª campanha do ponto P1 da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

O mesmo não se verificou relativamente às amostras da Lixeira de Braga, na qual se registaram 16 amostras com valores de EBC (%) superiores a 5%. Esses valores

podem ser explicados pelo facto das amostras em causa apresentarem todas teores de ferro e manganês consideráveis e estes dois iões não terem sido utilizados no cálculo do referido parâmetro.

A média dos valores de EBC (%) obtidos é de, aproximadamente, -5%.

Relativamente ao EBC (meq/l), a verificação foi efectuada apenas para as amostras pouco mineralizadas, pelo que, podemos aceitar, segundo os critérios estabelecidos por Oppenheimer e Eaton (1986), diferenças entre o Σ catiões e o Σ aniões inferiores a 0,2 meq/l ($EBC (meq/l) \leq 0,2$). Observando o gráfico 2 verificamos que todas as amostras estão dentro do limite estabelecido, sendo a média de valores de 0,055 meq/l.

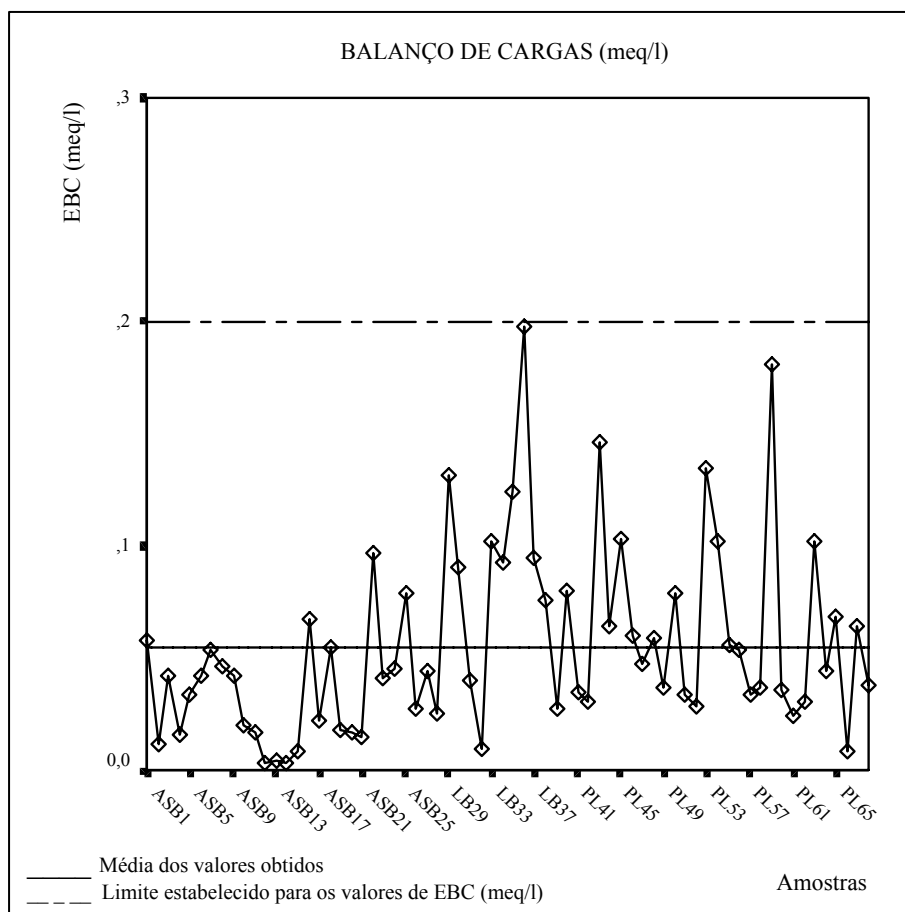


Gráfico 2 – Valores de erro de balanço de cargas (meq/l) dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas de estudo.

3.6.2 – CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA

Tal como havíamos referido, os valores da relação CEc/CEm das amostras devem estar compreendidos entre 0,9 e 1,1. O gráfico 3 apresenta os valores obtidos para cada uma das amostras das campanhas realizadas. Através da análise do gráfico, comprovamos que a média dos valores obtidos ronda os 0,9 e que 38 amostras apresentam uma relação CEc/CEm além dos limites estabelecidos. Seis dessas amostras são relativas ao ASB, 21 à Lixeira de Braga e 11 à Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Os erros obtidos podem estar relacionados com possíveis precipitações que devem ter ocorrido antes e depois da filtração das amostras e mesmo após a acidificação destas.

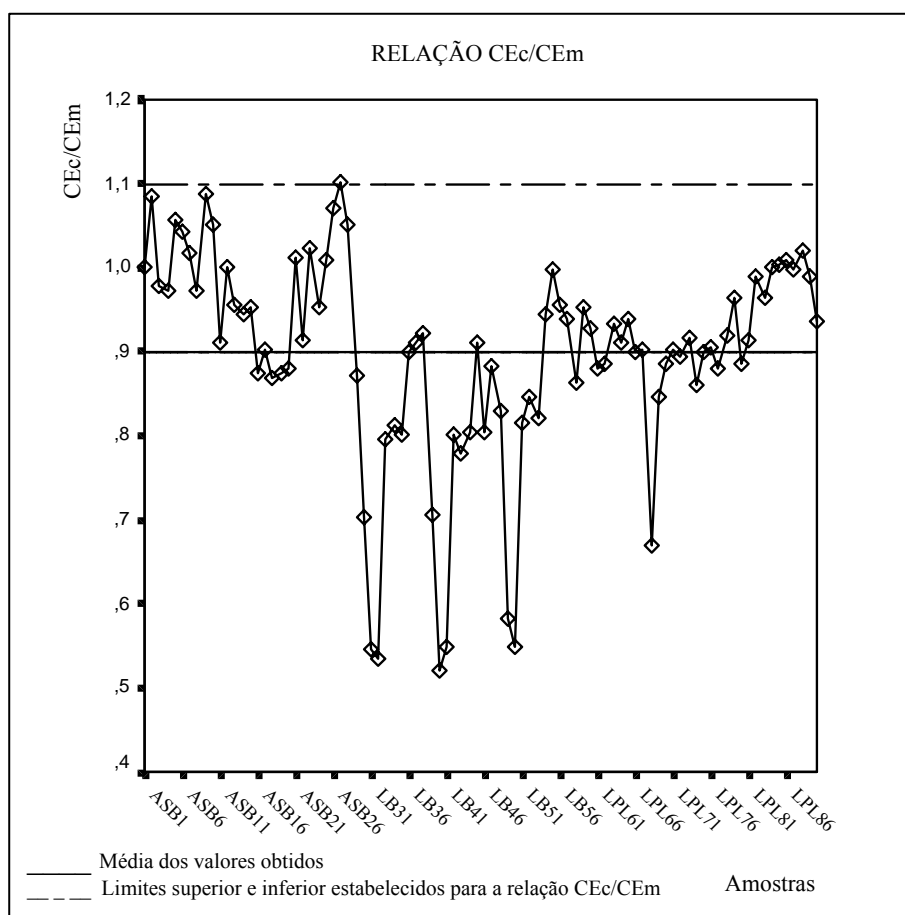


Gráfico 3 - Valores da relação CEc/CEm dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas em estudo.

Dos erros obtidos verifica-se que grande parte correspondem à Lixeira de Braga. Tal deve-se, possivelmente, ao facto das águas dessa área de estudo apresentarem

elevada mineralização. Esta elevada mineralização, leva a que no campo sejam registados valores de condutividade elevados, os quais após recolha e tratamento das amostras baixam devido às precipitações que entretanto ocorrem. Este processo conduz, assim, à determinação em laboratório de condutividades inferiores, daí a relação CEc/CEm nos pontos da Lixeira de Braga se situarem abaixo de 0,9.

Relativamente à relação $TSDc/CEm$ os valores encontrados nos resultados analíticos devem estar compreendidos entre 0,55 e 0,7. Os resultados obtidos estão representados no gráfico 4.

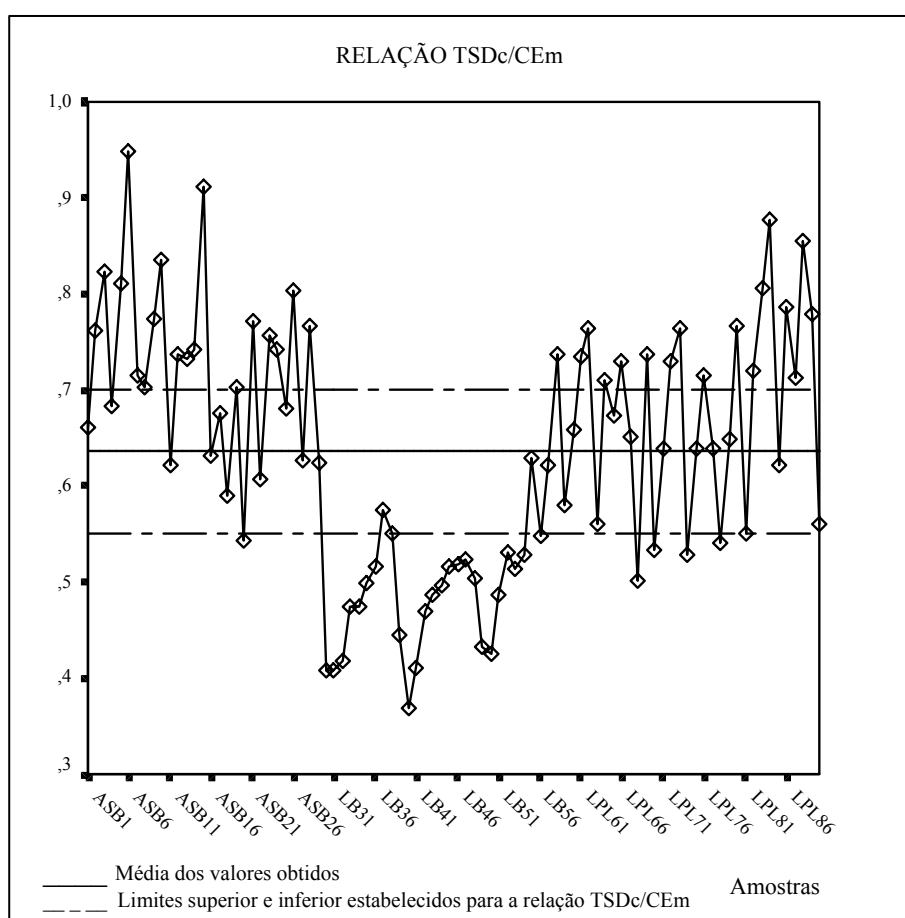


Gráfico 4 - Valores da relação $TSDc/CEm$ dos resultados analíticos das amostras colhidas nas três áreas em estudo.

Os baixos valores obtidos na Lixeira de Braga podem ser justificados, tal como para a relação anterior, pela elevada condutividade das suas águas. Por sua vez, os valores acima do limite máximo estipulado no ASB e na Lixeira da Póvoa de Lanhoso podem-se dever à presença de teores significativos de substâncias não dissociadas, como a SiO_2 , que levam a um aumento do TSD_c .

4 – EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA

4.1 - Conceitos básicos

4.2 - Evolução hidroquímica no Aterro Sanitário da Braval (ASB)

4.3 - Evolução hidroquímica na Lixeira de Braga

4.4 - Evolução hidroquímica na Lixeira da Póvoa de Lanhoso

4 – EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA

4.1 – CONCEITOS BÁSICOS

A **composição química das águas subterrâneas** depende muito das condições do aquífero em que esta se encontra, da sua litologia, da sua velocidade de circulação, da qualidade da água de infiltração, da sua relação com outras águas ou aquíferos e das leis do movimento das substâncias transportadas pela água. Os factores hidrodinâmicos têm também um papel muito importante (Custódio e Llamas, 1983).

Segundo Appelo e Postma (1994), a composição química das águas subterrâneas é o resultado combinado da composição química da água que entra no seu reservatório e a sua reacção com os minerais presentes nas rochas ao longo das quais ela circula. Esta circulação pode ocorrer à escala regional ou à escala local. Em geral, uma água subterrânea que circule à escala regional e que esteja muito tempo em contacto com o material rochoso, será uma água mais salina que uma água superficial ou de circulação local. Deste modo, a composição das águas pode sofrer muitas alterações, podendo adquirir características químicas muito diferentes das originais.

Contribui também para estas modificações químicas, o facto das águas subterrâneas poderem permanecer num aquífero profundo durante milhares de anos. A temperatura, a pressão, a porosidade e permeabilidade da rocha e o grau de saturação da água em relação a alguns minerais, são outros dos factores que também influenciam a evolução química da água (Custódio e Llamas, 1983).

Para além destes processos naturais que controlam a qualidade da água subterrânea, nos tempos que correm, temos que ter também em consideração os **efeitos da poluição** (Appelo e Postma, 1994).

Assim, no presente trabalho, o estudo da evolução química das águas analisadas será efectuado tendo em consideração, não só os processos naturais referenciados, mas também os efeitos potencialmente provocados pela acumulação de resíduos sólidos em aterros sanitários e/ou em lixeiras.

Os resíduos sólidos depositados degradam-se química e biologicamente, originando novas substâncias sólidas, líquidas ou gasosas. Alguns materiais sofrem oxidação, como por exemplo o ferro, enquanto outros, resíduos orgânicos e inorgânicos, ficam sujeitos à acção de microrganismos que os decompõem aeróbia e anaerobicamente. Os líquidos resultantes da degradação microbiana irão contribuir para o aumento da actividade química no interior do aterro sanitário ou da lixeira (Soliman e LaMoreaux, 1998) .

A degradação dos resíduos sólidos é afectada, quer pela natureza heterogénea dos resíduos, quer pelas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A quantidade de oxigénio disponível, a temperatura e a composição da população microbiana são também factores com grande influência no processo de decomposição dos resíduos sólidos.

A actividade biológica num local de deposição de resíduos sólidos geralmente segue uma série de etapas. Inicialmente, os resíduos sólidos decompõem-se **aerobicamente**, resultando deste processo essencialmente dióxido de carbono, água, ácidos orgânicos, azoto, amoníaco e sulfatos de ferro, magnésio e hidrogénio. Assim que o oxigénio se esgota, os microrganismos **anaeróbios** e facultativos tomam conta do processo, resultando da sua acção a produção de gás metano. Segundo Soliman e LaMoreaux (1998), a degradação aeróbia dos resíduos é mais rápida e mais completa, no entanto, dada a disponibilidade limitada do oxigénio, a degradação anaeróbia prevalece.

A actividade microbiana leva a um aumento significativo da temperatura no interior da célula de deposição de resíduos sólidos.

Os lixiviados produzidos percolam ao longo dos solos subjacentes podendo as substâncias tóxicas por eles transportadas sofrer algumas atenuações ao longo desse percurso através de processos como troca catiónica, filtração, adsorção, complexação, precipitação e biodegradação. Estes lixiviados poderão, em algum momento do seu percurso, interceptar as águas subterrâneas provocando, a partir desse momento, alterações na sua composição química original (Soliman e LaMoreaux, 1998).

Segundo Christensen *et al.* (2001), os lixiviados provenientes de locais de deposição de resíduos sólidos podem ser caracterizados como uma solução composta por quatro grupos de poluentes: matéria orgânica dissolvida, macrocomponentes inorgânicos (Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Fe, Mn, Cl, SO_4^{2-} e HCO_3^-), metais pesados (Cd, Cr,

Cu, Pb, Ni e Zn) e, em menor concentração, compostos orgânicos xenobióticos (XOCs) provenientes de habitações e indústrias químicas.

O quadro 11 indica as concentrações médias de alguns dos elementos mais comuns nos lixiviados provenientes de áreas de deposição de resíduos sólidos.

Quadro 11 – Concentrações médias de alguns dos elementos mais comuns nos lixiviados provenientes de áreas de deposição de resíduos sólidos (adaptado de Freeze e Cherry, 1979)

| PARÂMETRO | CONCENTRAÇÃO (mg/l) |
|--------------------------------------|---------------------|
| K+ | 200-1000 |
| Na+ | 200-1200 |
| Ca ²⁺ | 100-3000 |
| Mg ²⁺ | 100-1500 |
| Cl ⁻ | 300-3000 |
| SO ₄ ²⁻ | 10-1000 |
| Alcalinidade | 500-10 000 |
| Fe (total) | 1-1000 |
| Mn | 0,01-100 |
| Cu | <10 |
| Ni | 0,01-1 |
| Zn | 0,1-100 |
| Pb | <5 |
| Hg | <0,2 |
| NO ₃ ⁻ | 0,1-10 |
| NH ₄ ⁺ | 10-1000 |
| PO ₄ | 1-100 |
| Azoto orgânico | 10-1000 |
| Total de carbono orgânico dissolvido | 200-30 000 |
| CQO (Carência Química de Oxigénio) | 1000-90 000 |
| Total de sólidos dissolvidos | 5000-40 000 |
| pH | 4-8 |

Através desta breve introdução pudemos constatar que a água, ao longo do seu percurso, está em contacto com um sem número de substâncias, umas de origem natural, outras com origem em fontes poluidoras. Algumas dessas substâncias são sais com grande solubilidade, pelo que se dissolvem de imediato na água; outras, contudo, necessitam sofrer certas transformações químicas ou biológicas (hidratação, hidrólise, oxidação e redução, etc.) para que possam dissolver-se.

Neste capítulo começaremos por fazer uma abordagem às principais características físicas e químicas da água, assim como uma breve descrição de alguns processos e fenómenos que nela decorrem, para melhor podermos interpretar os resultados obtidos neste estudo.

4.1.1 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A - *Temperatura*

O conceito de **temperatura**, como uma medida de calor, surge da sensação subjectiva de calor e frio. Em relação à água, a temperatura que se produz como consequência de absorção das radiações caloríficas pelas camadas mais superficiais da água, depende da energia cinética média das suas moléculas (Lafuente, 1981).

A temperatura é uma das constantes físicas de maior importância no desenvolvimento dos diversos fenómenos que se realizam no seio da água. Assim, e segundo o mesmo autor, a temperatura da água determina a evolução das suas propriedades, sejam elas físicas, químicas ou biológicas:

- Propriedades físicas – a temperatura influencia a solubilidade dos gases na água, a densidade, a viscosidade, a tensão superficial, a pressão do vapor, etc.;
- Propriedades químicas – a temperatura intervém na velocidade de numerosas reacções químicas, pelo que, fenómenos como a sedimentação, o deslocamento de equilíbrios dinâmicos como o dos carbonatos, sulfatos e a alcalinidade são afectados pelas variações da temperatura;
- Fenómenos biológicos – A temperatura influencia extraordinariamente o desenvolvimento dos organismos que se encontram na água, pois cada espécie tem uma temperatura óptima de desenvolvimento, por cima da qual só consegue sobreviver por um pequeno período de tempo.

Por todos os motivos acima referidos, a **temperatura da água subterrânea** é um dado de grande valor, não só para a determinação do uso que podemos dar a essas águas, mas também como característica hidrogeológica e hidrogeoquímica, uma vez que esta é função do tipo de terrenos que a água subterrânea drena, da natureza das rochas locais, da profundidade, entre outros factores (Lafuente, 1981).

Segundo Custódio e Llamas (1983), a temperatura das águas subterrâneas corresponde à média anual das temperaturas atmosféricas do local adicionada ao produto da profundidade pelo gradiente geotérmico.

Geralmente, as águas subterrâneas apresentam uma temperatura pouco variável, sendo esta tanto mais constante quanto maior for a profundidade do aquífero, excepto alguns casos mais raros como o das águas termais. As variações anuais manifestam-se sensivelmente até aos trinta metros e são normalmente de muito pequena amplitude. A partir de uma certa profundidade há aumento da temperatura da água em função do gradiente geotérmico, cujo valor médio é de cerca de $0,03\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$. A estabilidade da temperatura é um factor de grande importância com vista ao uso da água nos meios industriais, especialmente para refrigeração, e ocasionalmente na agricultura, pois a rega com águas subterrâneas pode constituir uma defesa contra as geadas (Custódio e Llamas, 1983).

Os limites extremos da temperatura da água subterrânea podem variar de vários graus abaixo de zero nas regiões geladas, até a temperaturas superiores ao ponto de ebulição da água nos géiseres (Tood, 1973).

Segundo os critérios estabelecidos por Schöller, as águas subterrâneas, de acordo com a sua temperatura, podem ser classificadas como (Lafuente, 1981):

- águas hipertermais ($t > t_m + 4^{\circ}\text{C}$ ou $t > t_s + 2^{\circ}\text{C}$);
- águas ortotermiais ($t = t_m$ a $t_m + 4^{\circ}\text{C}$ ou $t > t_s \pm 2^{\circ}\text{C}$);
- águas hipotermiais ($t < t_m$ ou $t < t_s - 2^{\circ}\text{C}$).

sendo,

t , a temperatura da água;

t_m , a temperatura média anual do ar;

t_s , a temperatura solar.

B - Condutividade

Segundo Custódio e Llamas (1983), a condutividade eléctrica é a capacidade de uma água conduzir a electricidade; corresponde à quantidade de electricidade transportada pela água entre dois eléctrodos paralelos de 1 cm² de secção e separados de 1 cm sob uma diferença de potencial de 1 volt. As unidades utilizadas para definir a condutividade eléctrica, no S.I., são Siemens/metro, sendo mais usual $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A molécula da água, só por si, apresenta uma condutividade muito baixa. No entanto, a temperatura exerce grande influência neste parâmetro. Segundo Lafuente (1981), a condutividade aumenta 2%/°C à medida que a temperatura sobe. Deste modo, torna-se conveniente estabelecer uma temperatura de referência que, normalmente, é 18°C ou 25°C (Custódio e Llamas, 1983). Neste estudo, a temperatura de referência utilizada foi de 25°C.

A carga e o tipo de iões presentes na água, bem como a sua concentração, também exercem influência sobre a condutividade, pelo que os valores deste parâmetro indicam com alguma exactidão a concentração dos sólidos dissolvidos (Lafuente, 1981). No entanto, segundo Freeze e Cherry (1979), esta relação não deve ser utilizada quando se pretende obter estimativas mais precisas.

Nestes casos, em que se pretende valores mais precisos, deve-se recorrer à seguinte fórmula de conversão (Hem, 1970):

$$\text{TSD} = AC \quad (4.1.1)$$

onde,

C, é a condutividade eléctrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$;

TSD, é o valor do total de sólidos dissolvidos em mg/m^3 ou mg/l ;

A, factor de conversão.

Para a maior parte das águas subterrâneas, o factor de conversão A encontra-se compreendido entre 0,55 e 0,75, consoante a composição iónica das águas (Freeze e Cherry, 1979).

A condutividade eléctrica das águas é um parâmetro bastante útil, pois permite-nos determinar mudanças que ocorrem na qualidade das águas a curto prazo (Lafuente, 1981).

C - pH

A medição do pH é uma das medidas mais frequentes e importantes na química da água, indicando os seus valores a actividade dos iões hidrogénio numa solução. Matematicamente, a actividade desse ião é expressa segundo a equação:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+) \quad (4.1.2)$$

onde (H^+) é a actividade do ião hidrogénio.

A origem dos iões H^+ nas águas pode ser natural ou artificial. Como *causa natural*, as substâncias dissolvidas têm um papel preponderante, uma vez que estas podem alterar o pH da água. Dentro das substâncias dissolvidas com influência sobre o pH citamos, a título de exemplo, o **bicarbonato**, o **ácido sulfúrico** e **os silicatos**. De referir ainda é a influência dos ácidos orgânicos, entre os quais temos o ácido húmico com origem na lavagem dos mantos dos bosques e florestas (Lafuente, 1981).

A influência destas substâncias e de outras no quimismo das águas será abordado mais em pormenor nos capítulos que se seguem.

Relativamente às *causas artificiais* que levam ao aparecimento de determinado pH nas águas destacam-se as actividades levadas a cabo pelo Homem: descargas provenientes das indústrias, minas, pecuária, lixiviação de solos agrícolas, locais de deposição inadequada de resíduos sólidos, etc.

Os valores de pH são influenciados pela temperatura, aumentando cerca de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, pelo que estes devem ser sempre registados a uma temperatura de referência. Normalmente os seus valores nas águas subterrâneas rondam os 6,5 e 8 e nas águas superficiais entre 5,5 e 8,5 (Custódio e Llamas, 1983).

O pH é um regulador importante dos processos químicos e biológicos das águas, uma vez que este afecta o grau de dissociação dos ácidos e bases fracos podendo, deste

modo, influenciar o poder de toxicidade de certos compostos (Rail, 1989). Do mesmo modo, pode actuar sobre a precipitação de determinadas espécies químicas ou sobre os efeitos de complexação e adsorção e inclusive sobre a velocidade das reacções redox (Lafuente, 1981).

A concentração do ião hidrogénio merece especial atenção nos casos em que a fonte de água se destina aos sistemas de abastecimento domésticos e industriais, pois esta pode conferir um paladar desagradável à água e também pode influenciar o seu poder de corrosividade (Lafuente, 1981).

D – Potencial redox (Eh)

Sob o ponto de vista electrónico, nas reacções de oxidação redução, ocorre transferência de electrões entre os iões presentes. Assim, nas reacções de oxidação há perda de electrões e nas reacções de redução um ganho. Esta transferência de electrões não é mais do que uma corrente eléctrica, logo as reacções redox possuem um potencial eléctrico. Este potencial é medido pelo **potencial redox, Eh** (Fetter, 1994).

Hood e Rohlich, definiram o potencial redox, Eh, como “a pressão electrónica existente num líquido, como resultado das respectivas concentrações de oxidantes e redutores presentes” (Lafuente, 1981).

O potencial redox de uma reacção é dado pela equação de *Nernst* (Fetter, 1994):

$$Eh = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln K_{sp} \quad (4.1.3)$$

onde,

E^0 , é o potencial redox standard, a 25°C e pressão de 1 atmosfera;

R, é a constante dos gases (0,00199 Kcal);

T, é a temperatura (Kelvins);

F, é a constante de Faraday (23,1 Kcal/V)

n, é o número de electrões.

De acordo com Lafuente (1981), um potencial redox elevado significa que há abundância de oxigénio e escassez de hidrogénio. Pelo contrário, um potencial redox baixo indica escassez de oxigénio e abundância de hidrogénio.

O potencial redox das águas subterrâneas está sob a influência, por um lado, da entrada do oxigénio proveniente da atmosfera e, por outro, pelo consumo deste oxigénio por parte das substâncias redutoras presentes na água.

4.1.2 – PRINCIPAIS CONSTITUINTES E GASES DISSOLVIDOS

As substâncias dissolvidas presentes nas águas subterrâneas apresentam-se, maioritariamente, no seu estado iónico. De entre estas substâncias encontram-se alguns iões cuja presença nas águas subterrâneas é muito frequente, pelo que a sua soma quase representa a totalidade dos iões dissolvidos; estes são os **íões fundamentais** e é sobre eles que recairá grande parte dos aspectos químicos observados nas águas subterrâneas.

De acordo com Custodio e Llamas (1983), esse iões fundamentais são os aniões Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- e os catiões Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Quadro 12). Frequentemente, os aniões nitrato (NO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) e o catião potássio (K^+) também se consideram incluídos no grupo dos iões fundamentais a não ser que estes apareçam em proporções muito pequenas. Por vezes o ião ferroso também é incluído (Fe^{2+}).

Entre os gases, são considerados fundamentais o dióxido de carbono (CO_2) e o oxigénio (O_2).

Entre as substâncias dissolvidas pouco ionizadas ou no estado coloidal são importantes os ácidos e os aniões derivados da sílica (SiO_2) (Custódio e Llamas, 1983).

Os restantes iões e substâncias dissolvidas encontram-se, geralmente, em quantidades notavelmente inferiores, designando-se por **íões menores** (Quadro 12). Estes representam menos de 1% do conteúdo iónico total. Os iões menores mais importantes, para além dos já mencionados NO_3^- , CO_3^{2-} , K^+ e Fe^{2+} , são o NO_2^- , o F^- , o NH_4^+ e o Sr^{2+} e normalmente surgem em concentrações aproximadas de 0,01 e 10 ppm. Em concentrações entre 0,0001 e 0,1 ppm normalmente temos os iões menores: (aniões) Br^- , S^{2-} , PO_4^{3-} , H_2BO_3^- , NO_2^- , OH^- , I^- , etc. e (catiões) Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , etc. (Custódio e Llamas, 1983).

De referir ainda os elementos que estão presentes nas águas subterrâneas em quantidades inferiores aos outros iões – **elementos traço** – como é o caso dos iões metálicos derivados do As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, Tc (Quadro 12).

Os restantes de possíveis iões estão maioritariamente em quantidades inferiores a 0,0001 ppm (Custódio e Llamas, 1983).

Quadro 12 – Principais elementos presentes nas águas subterrâneas (* iões que podem ser classificados como iões fundamentais ou como iões menores, consoante estejam presentes na água em proporções consideráveis ou não, respectivamente). Os iões menores que se encontram dentro dos parêntesis são aqueles que normalmente surgem em concentrações ligeiramente inferiores aos restantes.

| PRINCIPAIS ELEMENTOS PRESENTES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA |
|--|
| Iões fundamentais |
| <u>Aniões:</u> Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^- ; $^*\text{NO}_3^-$; $^*\text{CO}_3^{2-}$ <u>Catiões:</u> Na^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; $^*\text{K}^+$; $^*\text{Fe}^{2+}$ <u>Gases:</u> CO_2 ; O_2 <u>Substâncias pouco ionizadas/Estado coloidal:</u> SiO_2 |
| Iões menores |
| <u>Aniões:</u> NO_2^- ; F^- ; $^*\text{NO}_3^-$; $^*\text{CO}_3^{2-}$ (Br^- ; H_2BO_3^- ; OH^- ; I^- ; S^{2-} ; PO_4^{3-}) <u>Catiões:</u> NH_4^+ ; Sr^{2+} ; $^*\text{K}^+$; $^*\text{Fe}^{2+}$ (Fe^{3+} ; Mn^{2+} ; H^+ ; Al^{3+}) |
| Elementos traço |
| As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc. |

Os aspectos químicos até agora referidos reportam-se aos casos mais frequentes de águas naturais, uma vez que em casos de águas contaminadas estas condições sofrem mudanças significativas. Deste modo, na natureza surgem ocasionalmente águas subterrâneas naturais com composições que não se ajustam ao indicado anteriormente, seja porque contêm quantidades muito pequenas de alguns dos iões fundamentais ou porque uma fracção importante do conteúdo iónico está representada por um ou vários dos iões menores ou elementos traço (Custódio e Llamas, 1983).

A - Iões Fundamentais

Ião Cloreto, Cl^-

O cloro faz parte do grupo dos halogéneos que ocupam a 7ª coluna da tabela periódica.

O ião cloreto, geralmente, forma sais bastante solúveis (ex. cloreto de sódio), que dificilmente sofrem precipitação, apresentando grande estabilidade em solução. Quando presente em águas naturais não sofre reacções de oxidação-redução (Custódio e Llamas, 1983). Por estes motivos, desempenha um importante papel na química das águas.

A introdução dos cloretos nas águas é feita essencialmente através da contaminação pelo mar, pela lixiviação dos sais cloretados de origem marinha presentes nos solos ou solos agrícolas sujeitos à utilização de fertilizantes, a partir dos dejectos animais ou humanos, ou efluentes industriais (indústrias de papel, galvanização de plantas, refinarias de petróleo, entre outras) (Rail, 1989).

As rochas podem também dar o seu pequeno contributo, embora as rochas ígneas que contêm minerais que compreendem o cloreto (halite, carnalite, silvite, sodalite, etc.) não cedam grandes concentrações deste anião para a normal circulação da água (Rail, 1989).

As chuvas, principalmente nas proximidades da costa possuem quantidades significativas de cloretos que podem ser cedidos para os cursos de água (Lafuente, 1981).

As concentrações de cloreto em águas doces rondam os 10 a 250 mg/l, sendo todavia comum encontrarem-se concentrações superiores (Custódio e Llamas, 1983). Nas águas para consumo, de acordo com o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, o valor paramétrico (VP) é de 250 mg/l. Este elemento em concentrações excessivas, superiores a 500 mg/l, confere um sabor salgado à água. As águas fortemente cloretadas podem tornar-se corrosivas, uma vez que certos sais na presença dos sais de cloreto, por

exemplo na presença do cloreto de sódio, se tornam muito mais solúveis (Lafuente, 1981).

A rega de campos com estas águas pode levar à sua salinização (Reimann e Caritat, 1998).

Assim, ao longo da monitorização da qualidade das águas, devemos ter em atenção, mais do que as concentrações dos cloretos, as variações repentinas que possam surgir nessas concentrações, e que nos indicam a existência de uma fonte poluidora (Lafuente, 1981).

Ião Sulfato, SO_4^{2-}

Os sulfatos encontram-se na maior das águas naturais, sendo, depois dos carbonatos e dos silicatos, os principais elementos das águas continentais (Lafuente, 1981).

Este ião forma sais de solubilidade moderada a muito elevada, apresentando grande estabilidade, à excepção dos sais de Sr e de Ba que tendem a precipitar. Todavia, podemos afirmar que os sais formados pelo ião sulfato são de difícil precipitação uma vez que os sais de Sr e Ba são muito raros na natureza (Custódio e Llamas, 1983).

Os sulfatos entram nas águas, não só através do contributo mineralógico das formações geológicas envolventes (barite, celestite, anidrite, gesso), mas também através das descargas industriais, como curtumes, fábricas de papel, fábricas têxteis, fábricas de pólvora, indústrias farmacêuticas, fungicidas e outras operações que utilizem sulfatos ou ácidos sulfúricos (Reimann e Caritat, 1998).

Este anião, no interior das águas subterrâneas, em condições redutoras com matéria orgânica abundante, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou a S^{2-} , geralmente por acção de membros do género anaeróbio *Desulfovibrio* (Rail, 1989).

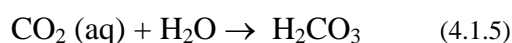
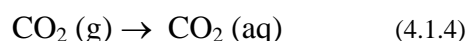
Os sulfatos de Ca e Mg contribuem para a dureza da água, constituindo a dureza permanente (Lafuente, 1981).

Segundo Custódio e Llamas (1983), as concentrações deste anião nas águas doces rondam os 2 a 150 mg/l. No que diz respeito às águas para consumo, o VP estabelecido é de 25 mg/l (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro). As águas com elevadas concentrações de sulfato – *águas sulfatadas* – são caracterizadas por não tirarem a sede e por possuírem um sabor amargo, para além de se tornarem corrosivas (Custódio e Llamas, 1983).

Iões Carbonato e Bicarbonato, CO_3^{2-} e HCO_3^-

Os carbonatos têm grande influência na qualidade das águas, pois apresentam reactividade elevada (Appelo e Postma, 1994). As principais fontes destes iões são o CO_2 dissolvido na água, proveniente da atmosfera, dos solos ou da matéria orgânica, e a dissolução dos minerais carbonatados presentes nas rochas.

Assim, o dióxido de carbono atmosférico e o que se encontra na zona de infiltração do solo, produzido pela respiração dos seres vivos, sem esquecer o dióxido de carbono libertado pelos organismos aquáticos, em contacto com a água forma o CO_2 aquoso, que se associa com as moléculas de água para produzir ácido carbónico (H_2CO_3). Este processo pode ser descrito pelas seguintes equações:



Por sua vez, o ácido carbónico também se dissocia em duas etapas, libertando um protão em cada uma delas:



Em *condições alcalinas*, os iões OH^- presentes na solução removem os iões H^+ do equilíbrio ($\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$), o que faz com que a reacção de dissociação do HCO_3^- (equação 4.1.7) ocorra no sentido de produção de mais protões (para a direita). O resultado é o efeito tampão dos iões OH^- . Em *condições ácidas*, a combinação dos iões H^+ em solução com os iões HCO_3^- e CO_3^{2-} é promovida (equações 4.1.8 e 4.1.9), exercendo estes iões o efeito tampão (Ramsden, 1996).



Assim, o CO_2 pode surgir em solução sob a forma de $\text{CO}_2(\text{aq})$, HCO_3^- ou CO_3^{2-} , sendo o pH o factor decisivo. Existe, deste modo, uma estreita ligação entre o CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} e pH (Custódio e Llamas, 1983), a qual se encontra representada na figura 19. Como podemos observar, há uma simetria em relação ao eixo de pH 8,3. O ião bicarbonato é a espécie dominante na maior parte das águas, estando o seu domínio compreendido, sensivelmente, entre pH 4,3 e 12. Nas águas ácidas, o CO_2 predomina. No momento em que desaparece o CO_2 , $\text{pH} > 8,3$, surgem os carbonatos (Lafuente, 1981).

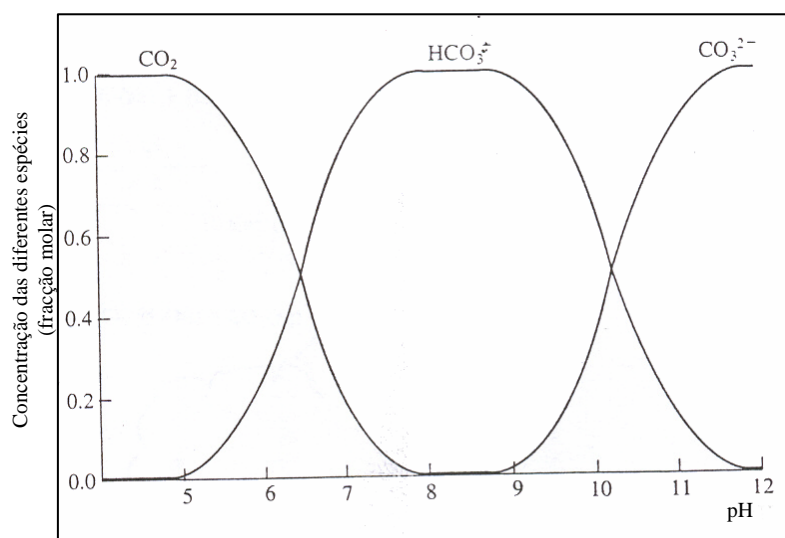


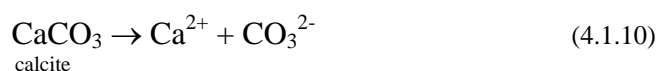
Figura 19 – Distribuição das espécies CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-} na água em função do pH (adaptado de Ramsden, 1996).

Tal como referimos, os minerais carbonatados presentes nas rochas, dada a sua composição química, são também uma das principais fontes dos iões CO_3^{2-} e HCO_3^- presentes na água. O quadro 13 apresenta alguns desses minerais carbonatados.

Quadro 13 – Mineralogia de alguns carbonatos (adaptado de Appelo e Postma, 1994).

| MINERALOGIA DE ALGUNS CARBONATOS | | |
|----------------------------------|---------------|------------------------------|
| | MINERAIS | FÓRMULA |
| Trigonal | Calcite | CaCO_3 |
| | Magnesite | MgCO_3 |
| | Siderite | FeCO_3 |
| | Rhodocrosite | MnCO_3 |
| | Dolomite | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ |
| Ortrômbico | Aragonite | CaCO_3 |
| | Estroncianite | SrCO_3 |
| | Cerussite | PbCO_3 |

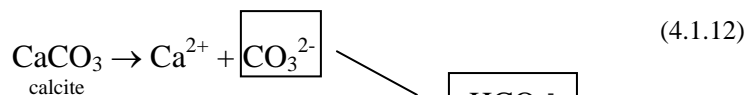
Um dos exemplos mais comuns é a dissolução da calcite (CaCO_3). Este processo pode ser descrito pela seguinte equação:



No entanto, os iões CO_3^{2-} produzidos ao longo da dissolução dos carbonatos, como aceptadores de protões que são, reagem facilmente com a água, originando o bicarbonato (HCO_3^-) (Equação 4.1.11). Este processo, uma vez que implica o consumo de protões, torna a solução alcalina.



O carbonato (CO_3^{2-}) pode também reagir com os protões (H^+) libertados pelo ácido carbónico (H_2CO_3) resultante da decomposição da matéria orgânica presente na água. Assim, o ião CO_3^{2-} associado a esses protões origina uma vez mais bicarbonato. O esquema que se segue representa, de modo simplificado, este processo.



Assim, os carbonatos contribuem não só para o aumento da concentração do ião CO_3^{2-} , mas também para o aumento de HCO_3^- na água. Para além destes dois iões, os carbonatos podem ainda ceder outros iões como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , etc. Podemos, por estes motivos, afirmar que a presença dos carbonatos conduz a um aumento do valor do Total de Sólidos Dissolvidos (Appelo e Postma, 1994).

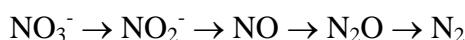
Nas águas doces, a concentração do ião bicarbonato HCO_3^- varia entre 50 e 350 mg/l podendo por vezes alcançar os 800 mg/l. O ião carbonato, CO_3^{2-} , encontra-se em concentrações muito inferiores e, se o pH for inferior a 8,3, considera-se como zero. Nas águas alcalinas com pH superior a 8,3, podem surgir quantidades importantes, atingindo nas águas naturais os 50 mg/l (Custódio e Llamas, 1983) (figura 19).

As concentrações excessivas de bicarbonato e carbonato nas águas não representam um perigo de toxicidade, sendo apenas as águas ricas em bicarbonato de sódio pouco aconselháveis para regadio, uma vez que o Na se fixa ao solo e cria um meio alcalino (Custódio e Llamas, 1983).

Ião Nitrato, NO_3^-

A contaminação das águas subterrâneas com nitratos é um problema em ascensão. Este composto entra no ciclo hidrológico essencialmente através de descargas de águas residuais industriais e municipais (Rail, 1989). Todavia, os fertilizantes agrícolas, as descargas de dejectos animais e os lixiviados de aterros sanitários contribuem também significativamente para a concentração deste composto nas águas (Freeze e Cherry, 1979).

Este anião forma sais de difícil precipitação, pois são muito solúveis, daí a sua elevada mobilidade na água (Custódio e Llamas, 1983). No entanto, os nitratos podem sofrer transformações consoante as condições apresentadas pelo meio em que este se encontra. Deste modo, em meios redutores os nitratos, NO_3^- , podem ser reduzidos, dando origem a N_2 ou a N_2O . Este processo é normalmente designado por *desnitrificação* e, de um modo geral, consta das seguintes etapas (Canter, 1997):



O azoto resultante da desnitrificação dos nitratos após a sua libertação fica sujeito à acção da actividade microbiana existente no solo, pelo que este pode ser fixado e por conversão biológica originar amoníaco (NH_4^+) – *amonização*. Sob condições anaeróbias, ocorre acumulação de amoníaco nos solos uma vez que há supressão da *nitrificação*. Este processo consiste na oxidação biológica do NH_4^+ a NO_3^- . A nitrificação geralmente consiste em duas etapas, sendo a primeira o resultado da actividade de bactérias do género *Nitrosomonas* ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$) e a segunda das bactérias do género *Nitrobactérias* ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Para que estas conversões ocorram é necessário a presença de oxigénio (Canter, 1997).

Segundo Custódio e Llamas (1983), as suas concentrações normalmente variam entre 0,1 e 10 mg/l, mas em águas poluídas pode alcançar 200 mg/l e em alguns casos os 1000 mg/l.

Nas águas para consumo humano, de acordo com o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, as concentrações de nitrato não devem exceder os 50 mg/l (VP).

As elevadas concentrações de nitratos nas águas de consumo são prejudiciais à saúde, pois provocam, essencialmente nas crianças, um síndrome fatal que impede o transporte de oxigénio por parte dos glóbulos vermelhos (Appelo e Postma, 1994).

O ião nitrato contribui ainda para a corrosividade da água (Custódio e Llamas, 1983).

Ião Sódio, Na⁺

O sódio não ocorre sob a forma livre na natureza. No entanto, os compostos deste elemento constituem 2,83% da crosta terrestre (Rail, 1989). Este catião apresenta elevada solubilidade, pelo que, quando em solução, dificilmente sofre precipitação.

O sódio entra na composição química das águas, essencialmente por influência das formações geológicas por ela percorridas, uma vez que este é o principal constituinte das rochas ígneas. Nestas, ocorre sob a forma de plagioclases, micas, anfíbolas e piroxenas (Reimann e Caritat, 1998). Ocorre ainda, embora com menor frequência, em silicatos como a nefelina, sodalite, glaucofana, aegirite e zeólitos como a natrolite. Ao longo da alteração destes silicatos, o sódio é libertado, sendo a sua distribuição e a sua taxa de libertação reflectidas na qualidade química da água. As actividades químicas levadas a cabo pelo Homem (práticas agrícolas, sais utilizados nas indústrias, etc.) dão também o seu contributo (Rail, 1989).

Assim, este catião está frequentemente presente na água doce sob a forma de ião Na⁺, podendo também ocorrer na solução sob a forma de sulfatos, nitratos, cloretos, carbonatos, etc. (Lafuente, 1981).

As suas concentrações em águas doces rondam entre 1 e 150 mg/l, sendo contudo normal surgir em concentrações muito mais elevadas (Custódio e Llamas, 1983). Nas águas subterrâneas de climas húmidos a quantidade de sódio é da ordem de 1-20 mg/l (Rail, 1989). Relativamente às águas para consumo, as suas concentrações não devem ultrapassar os 200 mg/l (VP) (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro).

As águas com elevadas concentrações de sódio são prejudiciais, quer para as plantas, como para os animais e para o Homem. São prejudiciais para as plantas, porque reduzem a permeabilidade do solo, sendo especialmente nocivas se as concentrações de Ca e Mg forem baixas (Custódio e Llamas, 1983), uma vez que estes constituem os seus catiões de troca. São também nocivas para os animais e para o Homem, especialmente para indivíduos com problemas cardíacos e doenças renais e circulatórias, pois levam a um aumento da pressão arterial (Rail, 1989).

Ião Potássio, K^+

O potássio, tal como o sódio, não se apresenta na natureza sob a sua forma livre. Este é um elemento que se encontra em quantidades abundantes, quer nas rochas ígneas, quer nas sedimentares, sendo a sua concentração média nas primeiras de 25,700 mg/Kg. Ocorre na forma de feldspatos potássicos (ortoclase e microclina), micas (moscovite e biotite), e em outros minerais (leucite, nefelina) (Rail, 1989).

Dado isto, poderíamos afirmar que, quer as rochas ígneas, quer as sedimentares, podem contribuir com uma percentagem considerável de potássio para as águas. De certo modo a afirmação não é errada. No entanto, verifica-se que este catião surge nas águas em concentrações bastante inferiores às do sódio, mesmo sendo o primeiro mais abundante nas rochas. Tal facto poderia ser explicado pela incorporação do potássio na vegetação, uma vez que este constitui um dos seus nutrientes essenciais, o que leva à sua saída do ciclo hidrológico. Contudo, a quantidade aqui envolvida não serve de explicação, porque a vegetação mais tarde ou mais cedo será devolvida ao solo podendo o potássio nela incorporado lixiviar-se (Rail, 1989). As baixas concentrações de potássio nas águas explica-se pela baixa mobilidade geoquímica que este catião apresenta, mesmo possuindo elevada solubilidade. Tal, deve-se ao facto do potássio ser absorvido de forma quase irreversível pelas argilas em formação (montmorilonite e illite) para integrar a sua estrutura, aspecto este que o distingue de forma notável do Na^+ (Custódio e Llamas, 1983).

Pelos motivos atrás referidos, as rochas ígneas e sedimentares, embora tenham grandes quantidades de potássio na sua constituição, contribuem apenas com uma ínfima percentagem deste elemento para a composição química das águas. Assim, as elevadas concentrações de potássio nas águas subterrâneas estão frequentemente associadas ao uso de fertilizantes agrícolas com este elemento incorporado e que, quando utilizados excessivamente, provocam o aumento das suas concentrações. Assim, podemos afirmar que os valores elevados de potássio estão normalmente associados a elevados valores de poluição provocada pelo Homem (Rail, 1989).

De acordo com Custódio e Llamas (1983), o potássio nas águas doces encontra-se em concentrações de 0,1 a 10 mg/l.

Ião Cálcio, Ca^{++}

Em meio aquoso, o cálcio não ocorre na sua forma natural, pois este oxida assim que entra em contacto com o ar e reage de imediato com a água (Rail, 1989). No entanto, os sais de cálcio são comuns na água. Estes são moderadamente solúveis a muito solúveis, precipitando com facilidade (Custodio e Llamas, 1983).

O cálcio entra nas águas essencialmente através do contributo mineralógico das formações geológicas. Este elemento é bastante abundante nos minerais das rochas, sendo um constituinte essencial das rochas ígneas (36,200mg/Kg). No entanto, a sua maior concentração ocorre nos precipitados, especialmente em rochas carbonatadas (272,000 mg/Kg) (Rail, 1989).

Segundo Lafuente (1981), ocorre geralmente na forma de carbonato de cálcio (ex. calcite, aragonite, estalactites, estalagmites), sulfato de cálcio (gesso), fluoreto de cálcio (fluorite) e como fosfato de cálcio (apatite).

Estes sais, quando presentes na água, resultam assim da lixiviação dos minerais das rochas e dos solos ou de qualquer outra fonte natural ou então dos despejos e resíduos industriais. Geralmente, a geologia contribui em maior escala para o aparecimento deste elemento nas águas que as actividades antropogénicas (Reimann e Caritat, 1998).

A sua química em muitas águas, como já tivemos oportunidade de constar, está extremamente associada à dos iões HCO_3^- e CO_3^{2-} , podendo precipitar e dissolver com facilidade à medida que o pH ou a pressão parcial de CO_2 variam (Custódio e Llamas, 1983).

A sua concentração nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg/l (Natrulink, 2005).

Ião Magnésio, Mg^{++}

O ião Mg^{2+} evidencia características químicas semelhantes às do ião cálcio. No entanto, possui solubilidade mais elevada e consequentemente precipitação mais difícil (Custódio e Llamas, 1983).

O magnésio presente na composição química das águas tem como principais fontes naturais o oceano e as rochas (Rail, 1989). Nestas, normalmente, surge integrado em vários grupos de minerais: óxidos e hidróxidos, silicatos, carbonatos, sulfatos, fosfatos e arsenatos (Reimann e Caritat, 1998).

As actividades humanas, embora em menor escala, também dão o seu contributo através da utilização de fertilizantes que contêm este elemento ou através de emissões industriais (Rail, 1989).

Nas águas subterrâneas surge em teores entre 1 e 40 mg/l. Em água subterrâneas de regiões litorais, a relação Mg/Ca é um elemento caracterizador da contaminação por água marinha (Natrulink, 2005). Em concentrações demasiado elevadas, para além de contribuir para a dureza da água, apresenta propriedades laxantes e confere um sabor amargo à água. Se o pH da água for elevado os níveis excessivos de Mg^{2+} podem levar à formação de $Mg(OH)_2$, incrustante (Rail, 1989).

Iões relacionados com o Ferro

O ferro é o quarto elemento mais abundante que constitui a crosta terrestre (U.S.EPA, 1976, em Rail, 1989), sendo este de extrema importância na química da água. Ele é comum em muitas rochas e é um dos componentes de muitos solos, surgindo geralmente integrado em minerais como a magnetite, hematite, goetite, siderite, pirite, entre outros (Reimann e Caritat, 1998).

A água, ao efectuar o seu percurso ao longo das rochas e solos, arrasta o ferro libertado ao longo dos processos de alteração, introduzindo-o assim no ciclo hidrológico. Embora estes processos de alteração que ocorrem nas rochas sejam a principal fonte de libertação de ferro para as águas, há que referir o contributo das

indústrias do ferro e aço (Reimann e Caritat, 1998) e também o ferro resultante da dissolução das canalizações fabricadas com este metal (Lafuente, 1981).

Segundo o mesmo autor, o ferro dissolvido pode surgir nos dois estados de valência +2 e +3. Normalmente surge sob as seguintes formas: Fe^{++} , Fe^{+++} , $\text{Fe}(\text{OH})^{++}$, $\text{Fe}(\text{OH})^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_2$. A estabilidade dos iões Fe^{++} , Fe^{+++} , $\text{Fe}(\text{OH})^{++}$, $\text{Fe}(\text{OH})^+$, em relação com o $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_2$ precipitados ou coloidais, depende do pH, Eh e da composição da solução.

Na figura 20 encontra-se representado um diagrama onde figuram os campos de estabilidade das soluções aquosas dos sistemas férrico-ferroso e os campos onde se localizam a maioria das águas naturais e as águas subterrâneas.

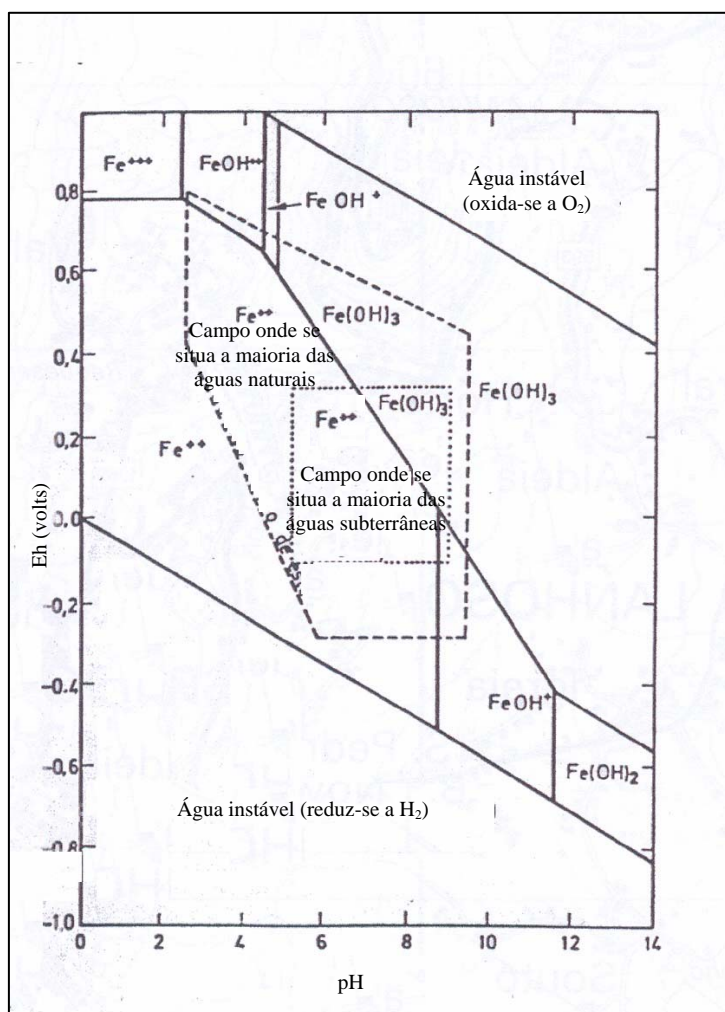


Figura 20 – Diagrama representativo dos campos de estabilidade das soluções aquosas dos sistemas férrico-ferrosos. São indicados os campos em que se situam as maiorias das águas naturais e das águas subterrâneas (adaptado de Custódio e Llamas, 1983).

Através do diagrama podemos constatar que, de um modo geral, as águas subterrâneas, dentro dos seus valores de pH normais (pH=5-8), só possuem Fe^{++} , dadas as condições anaeróbias em que se encontram (ambiente fortemente redutor), onde o Fe^{3+} é insolúvel (Custodio e Llamas, 1983). Se por qualquer razão as águas subterrâneas entrarem em contacto com o ar, a pH aproximadamente neutro, ocorre uma rápida oxidação do Fe^{2+} , que precipita sob a forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Appelo e Postma, 1994).

De acordo com Custodio e Llamas (1983), o Fe^{2+} surge nas águas em concentrações entre 0 e 10 mg/l, podendo contudo nas águas muito arejadas encontrar-se em quantidades inferiores a 0,5 mg/l. A valores de pH entre 5 e 8 raramente as suas concentrações atingem os 50 mg/l.

Nas águas muito ácidas, o Fe^{2+} e o Fe^{3+} podem atingir os 100 mg/l. Por outro lado, as águas alcalinas apresentam apenas quantidades muito pequenas de Fe^{2+} ou $\text{Fe}(\text{OH})^+$.

Segundo o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, o VP de ferro para as águas de consumo é de 200 $\mu\text{g/l}$ (0,2 mg/l).

As concentrações excessivas de ferro na água são incómodas, quer para os fins domésticos, quer para as indústrias, pois provocam enferrujamento e incrustações, para além de conferirem um paladar desagradável à água. A concentrações superiores a 5 mg/l e 200 mg/l pode-se tornar tóxico para as plantas e para o Homem, respectivamente (Reimann e Caritat, 1998).

Dióxido de Carbono, CO_2

O dióxido de carbono é um gás que se encontra fundamentalmente na atmosfera (0,0033% em volume) e nos mananciais de águas gasocarbónicas. Por vezes acumula-se também nas fissuras dos terrenos (Lafuente, 1981).

Deste modo, e como já havia referido, o dióxido de carbono presente na água tem origem na dissolução do CO_2 que se encontra na atmosfera, na zona de infiltração dos solos (produzido pela respiração dos seres vivos) e do CO_2 resultante da decomposição da matéria orgânica. Após a sua dissolução, este gás pode apresentar-se sob diferentes formas: CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- ou CO_3^{2-} .

De acordo com Custodio e Llamas (1983), as concentrações do dióxido de carbono na água situam-se entre 1 e 30 mg/l, correspondendo os valores mais baixos a águas que têm um contacto fácil com a atmosfera.

Nos aquíferos profundos em que ocorre geração de CO₂ (oxidação de matéria orgânica, transportes de origem vulcânica, etc.) e elevadas pressões, podem existir águas com concentrações de CO₂ até 1500 mg/l – *águas gasocarbónicas naturais* – que se mantêm se a ascensão da água se der rapidamente (Custódio e Llamas, 1983).

Geralmente, durante a noite ocorre um aumento nas concentrações de CO₂ pelo facto de não se realizar a fotossíntese por ausência de luz (Lafuente, 1981).

Segundo Custódio e Llamas (1983), as águas com um excesso de CO₂ tornam-se agressivas, dada a sua relação com os iões CO₃²⁻ e HCO₃⁻.

Oxigénio dissolvido, O₂

O oxigénio é um elemento indispensável na vida animal e nas plantas, tanto terrestres como aquáticas. Está presente em mais de metade dos minerais conhecidos (óxidos como o quartzo, rútilo e zircão, compostos como a calcite e a barite, hidróxidos e hidratos como a goetite e o gesso, entre muitos outros) (Reimann e Caritat, 1998).

O oxigénio presente na água é proveniente da fotossíntese (fonte biológica) e da atmosfera (fonte física), uma vez que as águas naturais, essencialmente as superficiais, estão em constante contacto com a atmosfera.

As quantidades deste gás na água estão também relacionadas com o fenómeno da respiração, pois esta traduz-se na absorção de oxigénio e desprendimento de dióxido de carbono. Assim, quanto maior for o número de organismos presentes na água, maior será a sua absorção e consequentemente menor será a sua concentração.

Num meio iluminado, o oxigénio produzido ao longo da fotossíntese é superior ao que é consumido pela respiração. No entanto, em meios pouco iluminados, como é o caso dos meios percorridos pelas águas subterrâneas, a fotossíntese não ocorre, verificando-se unicamente a respiração. Por este motivo, as águas subterrâneas apresentam baixas concentrações de oxigénio, uma vez que o pouco que possuem é consumido pelos organismos presentes e não têm a oportunidade de se reoxigenar pois não estão em contacto com o ar (Lafuente, 1981).

Quando presente na água, o oxigénio dissolvido produz um meio oxidante e desempenha um papel de grande importância na solubilização ou insolubilização dos iões que mudam com facilidade de valência (Custódio e Llamas, 1983). Este elemento, quando presente na água subterrânea, reage com as inúmeras substâncias do aquífero em estado reduzido, como a matéria orgânica e o Fe^{2+} integrado nos minerais (ex. pirite, siderite) (Appelo e Postma, 1994).

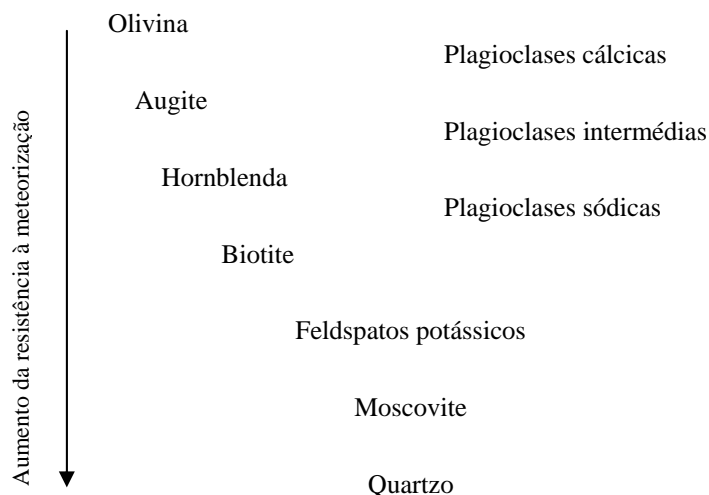
Nos estudos relacionados com a qualidade da água, deve-se ter em atenção as variações bruscas das concentrações deste gás, uma vez que podem ser sinónimo dum aumento anormal de matéria orgânica, germes aeróbios, redutores inorgânicos, etc. (Lafuente, 1981).

De acordo com Custodio e Llamas (1983), a maioria das águas subterrâneas tem entre 0 e 5 mg/l de oxigénio dissolvido, geralmente em valores inferiores a 2 mg/l. As águas destinadas ao consumo, segundo o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, devem possuir até 5 mg/l de oxigénio (VP).

Em concentrações excessivas, o oxigénio dissolvido na água confere-lhe corrosividade; a sua ausência pode atribuir um paladar desagradável à água, devido à ocorrência de fermentações anaeróbias (Custódio e Llamas, 1983).

Sílica, SiO_2

A sílica encontra-se num vasto número de minerais que constituem as rochas – os **silicatos** – desempenhando estes um papel fundamental no que diz respeito à química da água. O efeito destes minerais na química da água é bastante significativo. No entanto, quando comparado com o efeito dos carbonatos, o primeiro é menos pronunciado, uma vez que o seu processo de meteorização é muito mais lento. A resistência apresentada pelos silicatos aos vários processos de meteorização varia de mineral para mineral. Goldich, em 1938, descreveu uma sequência representativa da resistência dos vários silicatos à meteorização (Appelo e Postma, 1994):



Através deste esquema, podemos observar que a olivina e as plagioclases cálcicas são os silicatos que mais facilmente sofrem meteorização e o quartzo é aquele que apresenta maior resistência.

Esta sequência de meteorização reflecte também a diferente taxa de dissolução dos minerais, isto é, se a olivina e as plagioclases cálcicas, tal como referimos anteriormente, são os silicatos que mais facilmente se alteram, então são também os que mais rapidamente se dissolvem. Consequentemente, dada a resistência do quartzo, este será o ultimo mineral a sofrer dissolução (Appelo e Postma, 1994).

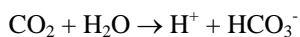
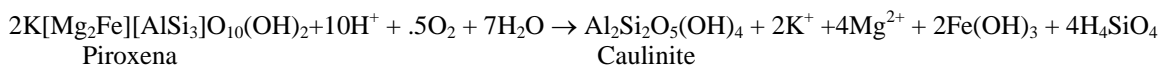
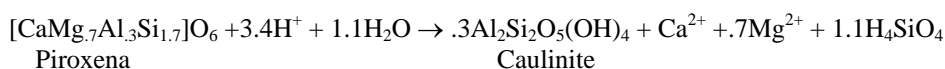
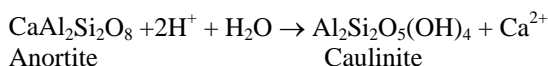
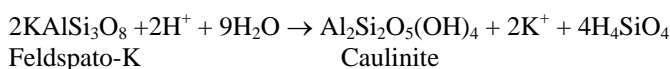
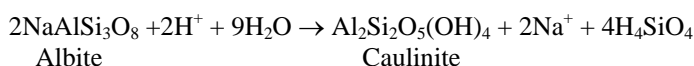
O efeito da meteorização dos silicatos, como se pode ver no quadro 14, traduz-se na composição química das águas principalmente através dum aumento das concentrações de cations e sílica. Esta, geralmente, encontra-se sob a forma de H_4SiO_4 , estando uma parte dissolvida e outra no estado coloidal. Contudo, uma pequena porção pode ser encontrada na forma ionizada, H_3SiO_4^- . As águas com grandes quantidades de sílica ionizada podem-se tornar fortemente básicas, no entanto, estas são muito raras na natureza (Custodio e Llamas, 1983).

Dada a insolubilidade dos compostos de alumínio que normalmente resultam da meteorização dos silicatos e do ferro libertado por estes, ao longo deste processo formam-se minerais secundários insolúveis, como as argilas (illite, caulinite e montmorilonite) e os óxidos de ferro, respectivamente (Appelo e Postma, 1994).

Segundo os mesmos autores, a meteorização dos silicatos exerce também um efeito tampão sobre o pH das águas, pois todas as reacções que ocorrem durante este processo são consumidoras de protões. Em condições normais, o dióxido de carbono é a principal fonte de protões, pelo que, será produzido bicarbonato ao longo do processo de meteorização dos silicatos, tal como indica a ultima reacção do quadro 14.

No caso das rochas não possuírem carbonatos na sua constituição, a meteorização dos silicatos passa assim a ser o principal processo tampão contra a acidificação dos solos e também da água subterrânea (Appelo e Postma, 1994).

Quadro 14 – Reacções da meteorização de diferentes silicatos (Appelo e Postma, 1994)



De acordo com Custodio e Llamas (1983), a maioria das águas naturais tem entre 1 e 40 ppm de SiO_2 , podendo atingir os 100 ppm, especialmente nas águas carbonatadas sódicas. Nas águas muito básicas pode-se atingir os 1000 ppm de SiO_2 .

B - Iões menores e Elementos traço

Os iões menores e os elementos traço geralmente surgem nas águas subterrâneas em concentrações bastantes baixas. Tal deve-se à baixa solubilidade apresentada por alguns desses iões ou também devido ao facto de serem facilmente adsorvidos pelos minerais de argila ou pelos hidróxidos de ferro e manganês ou mesmo pela matéria

orgânica presente na água (Freeze e Cherry, 1979). Contudo, apesar dos seus baixos teores na água, não devem ser menosprezados, uma vez que, quando presentes, podem afectar a saúde dos seres vivos que utilizam essas mesmas águas. A ingestão e consequente absorção de elementos tóxicos, em concentrações acima de certos valores, podem provocar graves problemas fisiológicos, por vezes irreversíveis, não obstante a toxicidade de um elemento variar de organismo para organismo (Purves, 1985).

Estes elementos encontram-se incorporados na estrutura cristalina dos minerais de algumas rochas, sendo a quantificação da sua dispersão na natureza regulada por vários fenómenos naturais. Diferentes razões de alteração e reactividade, volatilidade e solubilidade são processos a ter em conta no estudo da sua dispersão. A sua presença na água em quantidades anómalas deve-se, contudo, a actividades humanas como descargas de efluentes industriais, águas lixivantes provenientes de minas, aterros sanitários e/ou lixeiras. É também de referir as actividades que contribuem para a poluição atmosférica e consequente propagação destes elementos através do vento. (Purves, 1985).

Os metais pesados são frequentemente exemplos de iões menores ou elementos vestigiais presentes em águas poluídas. Segundo Pohland e Kim (2000), dada a sua persistência, estão entre os poluentes mais importantes dos sistemas naturais. De uma forma geral, os metais pesados, tal como os demais elementos traço, possuem uma certa afinidade para se dissolverem ou para formarem colóides com a matéria orgânica. Por exemplo, metais como o cobre e o chumbo estão predominantemente associados à matéria orgânica e outros como o zinco, o cádmio e o níquel estão maioritariamente associados a complexos inorgânicos (Jensen *et al.*, 1999).

De entre estes elementos destacam-se, devido à sua toxicidade, o chumbo, o mercúrio e o cádmio. Com menor toxicidade, mas não menos importantes, diferenciam-se ainda o arsénio, o boro, o crómio, o cobre, o flúor, o molibdénio, o níquel e o zinco. A produção e o uso destes elementos e dos seus compostos estão inevitavelmente associados à sua libertação e entrada no meio ambiente e consequentemente ao aparecimento de problemas de saúde (Purves, 1985).

Nos nossos dias, grande parte dos resíduos produzidos levam à libertação de metais, pelo que, os locais de deposição de resíduos são áreas frequentemente associadas à dispersão destes elementos. Aí os metais podem libertar-se para a atmosfera sob a forma de gases ou partículas sólidas ou podem ficar em suspensão ou dissolver-se nos efluentes líquidos produzidos nesses locais (Purves, 1985).

Alumínio, Al

O alumínio, tal como muitos outros elementos, não se encontra na natureza sob a sua forma livre. Ocorre combinado com outros elementos. Este anião apresenta-se frequentemente como um constituinte da maior parte das rochas, surgindo, normalmente, sob a forma de aluminossilicatos, em particular nas argilas. As rochas são, assim, a principal origem do alumínio presente nas águas. Aqui, este elemento encontra-se na forma dum sal solúvel ou como um composto coloidal. Normalmente, forma complexos com os iões hidróxido e, menos frequentemente, com o fluoreto. A pH baixo, pode também formar complexos com o ião sulfato. Dado que este catião surge frequentemente nas rochas na forma de aluminossilicatos a sua concentração na água pode também estar relacionada com as concentrações de sílica dissolvida (Lafuente, 1981).

Normalmente, encontra-se a concentrações de 0,1 mg/l a 10 mg/l, concentrações estas que não representam qualquer perigo. Raramente surgem em concentrações mais elevadas. No entanto, quando aparecem, estão associadas a águas com valores de pH baixos (Lafuente, 1981).

O VP definido para este elemento relativamente às águas destinadas ao consumo é de 200 µg/l (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro).

Arsénio, As

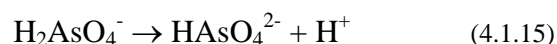
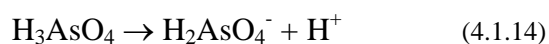
O arsénio é um metal de ocorrência natural, sólido, cristalino, de cor cinza-prateada. Exposto ao ar, perde o brilho e torna-se um sólido amorfo de cor preta (MDQ, 2005). Ao contrário de muitos dos elementos abordados até aqui, surge na natureza sob a sua forma livre. Apresenta-se também combinado em diversos minerais, entre os quais

estão o sulfureto arsenioso vermelho ou realgar (As_2S_2), sulfureto arsénico amarelo ou auripigmento (As_2S_3), arsenopirite (FeAsS), etc. (Lafuente, 1981).

Deste modo, o arsénio pode ser introduzido no ciclo hidrológico através das rochas. Contudo, esta origem natural é relegada para segundo plano quando comparada com as concentrações de arsénio cedidas artificialmente como consequência da actividade humana. O arsénio é usado como agente de fusão para metais pesados, em processos de soldagens e na fabricação de baterias eléctricas. Na forma de arsenito é utilizado como herbicida e, como arsenato, é usado nos insecticidas (MDQ, 2005).

Segundo Lafuente (1981), o arsénio surge nas águas superficiais em concentrações traço, isto é, concentrações inferiores a 1 mg/l, enquanto que nas águas subterrâneas podem ultrapassar os 1,50 mg/l. Nestas, geralmente, apresenta-se sob a sua forma reduzida (As^{3+}), uma vez que imperam as condições anaeróbias. Nas águas superficiais, onde dominam as condições aeróbicas, o arsénio surge na sua forma oxidada (As^{5+}).

O arsénio, quer no seu estado de valência +3, quer no seu estado de valência +5, pode formar protólitos, os quais, por dissociação podem libertar protões. Assim o As^{5+} surge normalmente sob a forma de H_3AsO_4 que, por dissociação, pode originar HAsO_4^{2-} , tal como representam as equações 4.1.14 e 4.1.15 (Appelo e Postma, 1994).



As espécies H_2AsO_4^- e HAsO_4^{2-} apresentam actividades idênticas, isto é, os seus limites de estabilidade aproximam-se, quando $\text{pH} = 6,9$. Abaixo deste valor, o H_2AsO_4^- é a forma dominante e a pH superior predomina o HAsO_4^{2-} . Os campos de estabilidade de ambas as espécies encontram-se representados no diagrama pe/pH da figura 21, estando estes separados por uma linha vertical a pH de 6,9, embora este limite seja independente do pe. É importante ter este factor em consideração para compreender que no campo de estabilidade do H_2AsO_4^- , o HAsO_4^{2-} também está presente, contudo numa concentração inferior (Appelo e Postma, 1994).

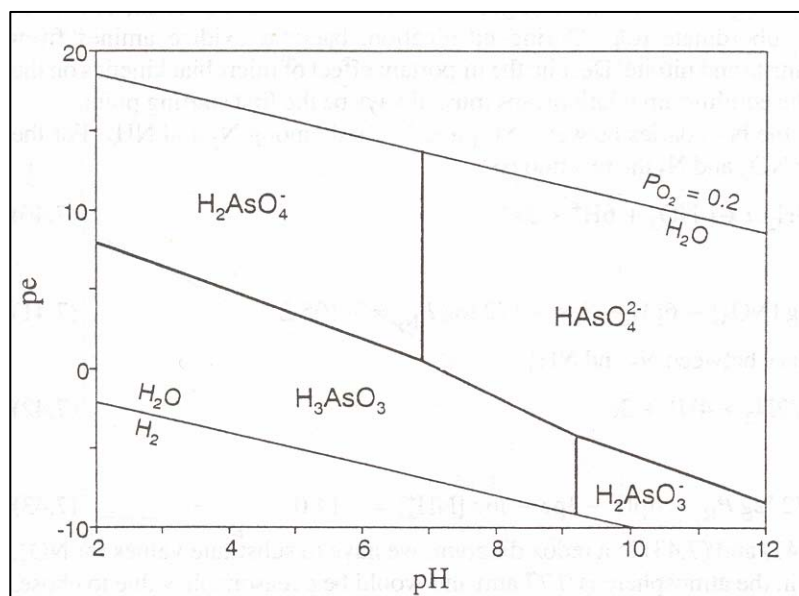
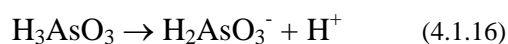


Figura 21 – Diagrama de estabilidade pe/pH para as espécies de arsénio dissolvidas. As linhas contínuas estabelecem os limites nos quais as espécies apresentam igual actividade (adaptado de Appelo e Postma, 1994).

O As^{3+} surge geralmente na forma de H_3AsO_3 . Do mesmo modo, podemos escrever para a primeira dissociação do As^{3+} :



Aqui, a $\text{pH} = 9,2$ é possível observar no diagrama pe/pH uma linha vertical que nos indica igual actividade de ambas as espécies.

Por estes motivos, e de acordo com Freeze e Cherry (1979), a presença dos iões As^{3+} e As^{5+} na água deve ser analisada separadamente, uma vez que estes podem servir como um útil indicador redox.

Dado que todos os compostos solúveis de arsénio são venenosos, há a necessidade de limitar as suas concentrações nas águas destinadas ao consumo. Assim, segundo o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro foi estabelecido um VP de $10 \mu\text{g/l}$.

Bário, Ba

O bário é um elemento raro nas águas naturais, surgindo normalmente em teores de 0,0007 mg/l a 0,9 mg/l (Nатурlink, 2005). A principal fonte natural é a erosão de depósitos naturais, onde ocorre na forma de barite (BaSO_4), ou de feldspatos ricos em Ba. Entre as actividades humanas que introduzem o bário no meio ambiente, podemos citar: perfuração de poços onde são utilizadas lamas de perfuração, indústrias de electrónica, de pirotecnia, de cerâmica, de vidro, de borracha, de tintas e de papel e ainda está presente em alguns pesticidas agrícolas (Reimann e Caritat, 1998).

Os sais de bário, sofrem precipitação com bastante facilidade, sendo também frequentemente adsorvidos por outros elementos. Contudo, quando o bário origina sais de maior solubilidade a sua presença torna-se bastante perigosa para o Homem, animais e plantas, dado o maior grau de toxicidade que adquirem (Reimann e Caritat, 1998). A sua ingestão pode provocar elevação da pressão sanguínea, por vasoconstrição e bloqueio do sistema nervoso (Nатурlink, 2005).

Chumbo, Pb

O chumbo está presente nas rochas essencialmente sob a forma de minerais de galena (PbS), anglesite (PbSO_4), cerussite (PbCO_3) e mínio (Pb_3O_4) (Reimann e Caritat, 1998).

Este elemento, apesar de não ser um elemento comum nas águas naturais, segundo Reimann e Caritat (1998), devido a fraca mobilidade que apresenta, tem sido responsável por sérios problemas de intoxicação, pelo facto de ser introduzido facilmente no meio ambiente a partir de uma série de processos e produtos humanos, tais como: encanamentos e soldagens, plásticos, tintas, metalurgia (Nатурlink, 2005). No entanto, hoje em dia, a principal fonte de libertação de chumbo é a queima de combustíveis fósseis, dada a introdução deste elemento na gasolina (Qually – SGA, 2005). É um metal que tem um efeito comutativo no organismo, podendo causar graves problemas de saúde.

O VP definido para este elemento relativamente às águas destinadas ao consumo é de 25 $\mu\text{g/l}$ (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro).

Cobre, Cu

O cobre surge na natureza na sua forma livre e também combinado, formando inúmeros compostos: cuprite (Cu_2O), calcopirite (CuFeS_2), malaquite (CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$), etc. (Lafuente, 1981).

Devido à sua baixa solubilidade, o cobre raramente surge nas águas. Nas águas superficiais os seus teores são, normalmente, bem menores que 0,020 mg/l e nas águas subterrâneas são inferiores a 1 $\mu\text{g/l}$ (Naturlink, 2005). No entanto, segundo Lafuente (1981), o seu estudo deve ser levado em consideração uma vez que muitas das condutas de água são construídas por este metal, podendo estas ser atacadas pelas águas mais agressivas e libertar, assim, algum cobre para as mesmas. Este ataque é favorecido, entre outros factores, pelo oxigénio presente, a acidez, a temperatura, etc.

A introdução deste catião na água pode também estar relacionada com a utilização de algicidas e fungicidas (Naturlink, 2005). Dadas as suas propriedades, este catião é vulgarmente utilizado sob a forma de sulfato de cobre hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) de cor azul, ou pedra azul, no combate às algas que se desenvolvem em depósitos, piscinas e inclusive represas artificiais que se encontram submetidas à acção solar. Este composto, ao eliminar os principais organismos capazes de oxigenar a água, provoca uma diminuição do oxigénio no seio da mesma, o que levará à morte das bactérias presentes na água e consequente acumulação de matéria orgânica por decomposição ineficaz (Lafuente, 1981). É ainda muito utilizado na preservação das madeiras, nas indústrias de fundição e na actividade mineira (Naturlink, 2005).

O cobre, quando presente na água, encontra-se associado principalmente à matéria orgânica coloidal. Nesta, encontram-se os seguintes iões: Cu^+ , Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{OH})^+$ e $\text{Cu}(\text{NH}_3)_x^{2+}$. No entanto, em doses relativamente mais elevadas, o cobre é tóxico. A sua ingestão é porém improvável já que em concentrações de 1 mg/l confere um sabor desagradável à água (Lafuente, 1981).

As concentrações de cobre permitidas pelos diferentes países, para a água de consumo, varia de 0 a 3 mg/l (Lafuente, 1981). No nosso país, o VP estabelecido é de 2 $\mu\text{g/l}$ (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro).

Crómio, Cr

O Crómio é obtido do minério cromite, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Este catião é vulgarmente utilizado em inúmeras actividades industriais, destacando-se: galvanoplastia, soldagens, produção de ligas ferro-crómio, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes. A libertação de efluentes provenientes deste tipo de indústria ou a deposição de resíduos que contêm crómio são, assim, potenciais fontes de contaminação dos solos e das águas por este elemento (MDQ, 2005).

O crómio é conhecido por ser um elemento essencial para a saúde humana, dada a sua importância no metabolismo da glucose (Kieffer, 1992). No entanto, no seu estado oxidado, sob a forma de cromato (Cr(VI)O_4^{2-}), tem severas consequências na saúde, uma vez que apresenta maior mobilidade e maior toxicidade que na sua forma reduzida (Cr^{3+}) (Babich e Stotzky, 1983).

O VP definido para este catião no Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro é de 50 µg/l.

Manganês, Mn

O manganês é um metal cinza semelhante ao ferro, porém mais duro e frágil (MDQ, 2005).

O ião Mn^{2+} surge incorporado nos minerais de algumas rochas, citando-se, a título de exemplo, a pirolusite (MnO_2), a braunite (Mn_2O_3) e a blenda de manganês (MnS) (Lafuente, 1981). Este elemento é pouco comum nas águas naturais, raramente atingindo concentrações de 1 mg/l. Normalmente está presente em quantidades de 0,2 mg/l ou menos e geralmente em parceria com o ferro. No entanto, quando presente, está associado a águas ácidas, resultantes de descargas de indústrias de aço, de fabricação de ligas metálicas e baterias e de indústrias químicas de tintas, vernizes, fogos de artifício, fertilizantes, fungicidas, rações, vidros, cerâmicas e produtos farmacêuticos (cloreto, óxido e sulfato de manganês), entre outros (Qually-SGA, 2005).

Em concentrações elevadas confere um sabor desagradável à água, o que faz com que a sua presença seja detectada de imediato, logo a sua acção tóxica pode ser evitada com facilidade (Lafuente, 1981).

Segundo o Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, o VP de manganês definido para as águas de consumo é de 50 µg/l.

Níquel, Ni

As concentrações de níquel em águas doces superficiais naturais podem chegar a aproximadamente 0,1 mg/l, embora concentrações de mais de 11 mg/l possam ser encontradas, principalmente em áreas de actividade mineira. A maior contribuição para o meio ambiente, pela actividade humana, é a queima de combustíveis fósseis. Como contribuintes principais temos também os processos de fundição de metal, fusão e modelagem de ligas, indústria de electrodeposição e, como fontes secundárias, temos a fabricação de alimentos, artigos de panificação, refrigerantes e sorvetes aromatizados (Qually-SGA, 2005).

De acordo com Reimann e Caritat (1998), alguns dos compostos formados pelo níquel apresentam fraca toxicidade. No entanto, outros são extremamente tóxicos e cancerígenos. A maior parte dos compostos de níquel é relativamente solúvel a pH inferior a 6,5.

O Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, estabelece que as águas de consumo não devem conter mais de 20 µg/l (VP).

Zinco, Zn

O zinco surge na natureza integrado nos minerais das rochas, essencialmente como sulfuretos (ZnS), carbonatos (ZnCO₃), silicatos (Zn₂SiO₄.H₂O), etc., assim como constituinte da matéria viva (ex. nas enzimas) (Lafuente, 1981).

Na água, este catião encontra-se em pequenas concentrações, sendo geralmente os iões mais frequentes o Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})^+$ e $\text{Zn}(\text{Cl}_3)^-$. Raramente surge em elevadas concentrações nas águas naturais superficiais ou subterrâneas. Contudo, quando aparece, a sua origem está associada normalmente ao ataque efectuado pelas águas às canalizações ou depósitos construídos em material deste elemento, ou como consequência de descargas de águas residuais industriais.

Em concentrações superiores a 40-50 mg/l este catião, tal como os seus sais, apresenta elevada toxicidade, provocando estas águas, quando ingeridas, náuseas e fadiga. A partir de 30 mg/l, o zinco comunica à água um forte sabor adstringente desagradável (Lafuente, 1981).

4.1.3 – ALCALINIDADE

A alcalinidade é a soma total dos compostos da água que tendem a elevar o seu pH acima de valores de 4,5, ou seja, é a capacidade que esta apresenta para neutralizar ácidos. Assim, a alcalinidade não diz respeito a uma única substância específica, mas inclui um efeito combinado de várias substâncias e condições, a referir HCO_3^- e CO_3^{2-} e também os iões OH^- , H_3SiO_4^- , PO_4^{3-} , H_2BO_3^- , F^- , etc., sendo estes últimos pouco influentes nas águas subterrâneas (Rail, 1989). Na prática, apenas os iões carbonato e bicarbonato é que são tidos em consideração para a determinação da alcalinidade.

Matematicamente, a alcalinidade é expressa segundo a expressão:

$$\text{Alcalinidade} = m_{\text{HCO}_3^-} + 2 m_{\text{CO}_3^{2-}} \quad (4.1.17)$$

Geralmente é expressa sob a forma de CaCO_3 (mg/l; meq/l) (Custódio e Llamas, 1983).

De acordo com Rail (1989), a alcalinidade por si só não é considerada prejudicial para o Homem, mas quando associada a valores de pH e dureza elevados e a um excesso de sólidos dissolvidos pode adquirir uma certa toxicidade.

4.1.4 – DUREZA

A dureza mede a capacidade de uma água consumir sabão ou produzir incrustações. Geralmente, é identificada como o conteúdo da água em iões alcalinotérreos, essencialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} , embora o Sr, o Fe e o Mn também contribuam para a dureza, se ocorrerem em concentrações consideráveis. Uma vez que a dureza não é atribuída a um único constituinte, foi necessário recorrer a algumas convenções para expressar as concentrações em termos quantitativos. Por essa razão, a dureza, tal como a alcalinidade, é determinada sob a forma de CaCO_3 (mg/l, meq/l) (Custódio e Llamas, 1983).

Segundo Custodio e Llamas (1983), as águas podem ser classificadas de acordo com a sua dureza:

- águas brandas ($\text{CaCO}_3 < 50$ ppm);
- águas ligeiramente duras ($100 > \text{CaCO}_3 \geq 50$ ppm);
- águas moderadamente duras ($200 \geq \text{CaCO}_3 > 100$ ppm);
- água muito duras ($\text{CaCO}_3 > 200$ ppm).

Normalmente, as águas possuem durezas entre 10 e 300 ppm de CaCO_3 podendo, por vezes, atingirem os 1000 ppm e, excepcionalmente, 2000 ppm ou mais. As águas duras são incrustantes e produzem grande consumo de sabão. Por sua vez, as águas muito leves também são agressivas e podem não ser adequadas para consumo (Custódio e Llamas, 1983).

Segundo Rail (1989), as principais fontes de dureza são as indústrias de química inorgânica e as descargas provenientes de minas em funcionamento ou abandonadas.

4.1.5 – PROCESSOS GEOQUÍMICOS EM ÁGUAS

A – Alteração das rochas

A água, ao longo do seu percurso pela Terra, seja à superfície ou no interior da mesma, entra em contacto com diferentes substâncias, minerais ou orgânicas, que

apresentam maior ou menor capacidade para se solubilizarem. Relativamente às substâncias minerais, aquelas que possuem maior capacidade de solubilização fazem-no através da **DISSOLUÇÃO**. Estas não precisam mais do que as condições físicas favoráveis para passarem à solução (Lafuente, 1981).

Em geral, segundo o mesmo autor, os factores que influenciam a dissolução dos sais são:

- a superfície de contacto entre a água e o meio (rochas);
- o comprimento do trajecto percorrido;
- a concentração de sais nas rochas;
- os fenómenos de difusão;
- o tempo de contacto;
- a temperatura;
- a pressão.

Por outro lado, as substâncias menos solúveis têm que ser sujeitas, numa primeira fase, a transformações químicas para se solubilizarem. São vários os processos através dos quais é feito esse **ATAQUE QUÍMICO** às rochas. Entre os principais encontram-se:

- Hidratação
- Hidrólise
- Oxidação / Redução
- pH
- Fenómenos biológicos

Hidratação

A hidratação, que representa a fase inicial do ataque químico às rochas, consiste na penetração da água no sistema reticular dos cristais, formando compostos químicos definidos. Estes, são designados de **hidratos** (ex. a anidrite, CaSO_4 , origina o hidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Uma das suas características mais importantes é a estabilidade que apresentam, podendo esta ser avaliada de acordo com a maior ou menor facilidade com que perdem a água de hidratação. Os hidratos menos estáveis perdem a água de

hidratação por simples exposição ao ar, enquanto que, os mais estáveis têm de ser submetidos a temperaturas elevadas (Lafuente, 1981).

Hidrólise

A hidrólise é outro processo mediante o qual se realiza o ataque químico às rochas. Este, pode ser considerado como uma decomposição da água nos seus iões, H^+ e OH^- , provocada pelos iões de certos sais ou, de modo inverso, a decomposição de certos sais pela acção dos iões da água (Lafuente, 1981).

Oxidação / Redução

O processo de oxidação-redução ocorre fundamentalmente na zona de infiltração dos solos. Com efeito, nesta zona o ar e a água coexistem, o que facilita a dissolução do oxigénio na água de infiltração, alcançando em muitos casos a saturação. A partir desta zona realizam-se em profundidade os fenómenos de oxidação, até que todo o oxigénio dissolvido na água desapareça. A partir deste momento, os fenómenos de redução passam a ocupar lugar de destaque.

O equilíbrio redox está a todo o momento influenciado, por um lado, pela possibilidade da entrada de oxigénio proveniente da atmosfera e, por outro, pelo consumo deste por parte das substâncias redutoras (Lafuente, 1981).

pH

Na natureza estão presentes alguns ácidos livres que são capazes de reagir com determinados sais que se encontram nas rochas, influenciando, deste modo, a sua solubilização. Os mais frequentes são, entre os inorgânicos, os ácidos nítrico, nitroso, sulfúrico e em particular o carbónico e, entre os orgânicos, os ácidos cítrico, butírico, acético, láctico, oxálico, etc. (Lafuente, 1981).

Fenómenos biológicos

Os fenómenos biológicos actuam na solubilização dos sais através da produção de ácidos orgânicos, acima mencionados, que reagem com aqueles. Os fenómenos biológicos que produzem ácidos orgânicos são, entre muitos outros: a nitrificação, a oxidação dos sulfuretos, a decomposição da matéria orgânica, etc. (Lafuente, 1981).

B – Fenómenos modificadores da composição da água

Após os processos de dissolução e ataque químico anteriormente abordados, a composição química da água vai-se alterar ao longo do seu trajecto, uma vez que ocorrerá uma série de fenómenos entre esta e os sais que nela se dissolveram.

Assim, segundo Lafuente (1981), os fenómenos capazes de modificar a composição da água são:

- Processos redox;
- Processos de troca iónica;
- Concentração das substâncias presentes por dissolução e evaporação;
- Novas dissoluções.

Processos redox

Os processos de oxidação redução desempenham um papel fundamental no que diz respeito à distribuição de espécies como o O_2 , Fe^{2+} , H_2S , CH_4 , etc., nas águas subterrâneas. No entanto, estes processos têm também papel de relevo em casos de aquíferos afectados pela poluição, como a poluição provocada pelos nitratos dos fertilizantes, lixiviados de lixeiras, drenagens ácidas de minas e a mobilidade de metais pesados (Appelo e Postma, 1994).

Os processos redox nas águas superficiais ocorrem sem qualquer problema, uma vez que estas estão em contacto permanente com o oxigénio. No entanto, o mesmo não sucede nas águas subterrâneas. Nestas, os processos redox utilizam o oxigénio nelas contido, e uma vez que este aqui não é fornecido continuamente, as águas subterrâneas tornar-se-ão progressivamente mais pobres em oxigénio. Quando este gás se esgota por

completo, para que ocorra redução dos constituintes inorgânicos, outros constituintes terão de oxidar (Freeze e Cherry, 1979). Pode ainda acontecer de uma água subterrânea entrar em contacto com a superfície, através duma nascente por exemplo, o que poderá levar à precipitação do hidróxido de ferro, ou então, se essa água for rica em CO_2 , este gás ser exsolvido, provocando uma precipitação dos minerais de carbonato de cálcio, que entretanto ficam sobressaturados na água. Dado isto, a composição química da água está em constante alteração (Custódio e Llamas, 1983).

Processos de troca iónica

Algumas substâncias sólidas naturais não estão electricamente equilibradas, pelo que necessitam de contrabalançar esse defeito de carga com iões de carga oposta. Adquirem um estado de neutralidade rodeando-se de catiões, se as cargas livres são negativas, ou de aniões, se as cargas livres são positivas. Alguns minerais incluem na sua estrutura iões que estão debilmente ligados. Ao entrarem em contacto com uma solução aquosa, essa ligação débil permite a substituição desses iões por outros com a mesma carga. A este processo chama-se troca iónica (Custódio e Llamas, 1983).

Segundo Appelo e Postma (1994), o processo de troca iónica, no âmbito da hidrologia, é cada vez mais um ponto de grandes atenções, visto que esse processo regula o transporte das substâncias químicas presentes nos aquíferos e nos solos, actuando como um tampão temporário numa situação de não equilíbrio resultante, por exemplo, da poluição. É, assim, um dos fenómenos que mais influencia a modificação da composição química da água, tendo especial influência sobre a concentração de determinados iões (ex. Na e K) (Lafuente, 1981).

As águas, ao longo do seu percurso, principalmente no meio subterrâneo, entram em contacto com diferentes substâncias que possuem capacidade de troca iónica. Geralmente, estas substâncias são aquelas que apresentam maior capacidade de adsorção. Os minerais argilosos (caulinite, montmorilonite, illite, vermiculite, etc.) e as substâncias orgânicas (substâncias húmicas, turfa, madeira, etc.) estão incluídas nas substâncias contidas nos terrenos susceptíveis de adsorver e trocar iões (Lafuente, 1981).

Usualmente, a capacidade de troca catiónica (CTC) de um solo é dada em meq/100 g. Uma fórmula empírica que descreve a CTC em percentagem de argilas e carbono orgânico é (Breeuwsma *et al.*, 1986):

$$\text{CTC (meq/100g)} = 0,7 (\% \text{ argilas}) + 3,5 (\% \text{ C}) \quad (4.1.18)$$

Concentração das substâncias presentes por dissolução e evaporação

A variação da concentração dos sais presentes é outra das modificações químicas importantes que a água pode sofrer e pode resultar da *dissolução de novas quantidades de sais* ou por *evaporação*. No caso das novas dissoluções, verifica-se essencialmente um contributo litológico, uma vez que grande parte dos sais provém das litofacies drenadas. A temperatura, a pressão, a superfície de contacto e a sua duração e o volume de água presente são alguns dos factores que influenciam o processo de concentração por dissolução. Assim, as águas serão mais concentradas quanto maior for o tempo de duração do contacto água-rocha, quanto mais elevada for a temperatura, quanto mais profundo for o aquífero, quanto maior for a porosidade do terreno, quanto mais lenta for a circulação da água, que por sua vez estará relacionada como o gradiente hidráulico e a extensão do aquífero.

Relativamente ao segundo caso, a evaporação, há fundamentalmente influência climática, uma vez que esta só poderá ter lugar à superfície. A água da chuva, após se ter infiltrado no solo, pode voltar a evaporar, deixando as soluções no solo mais concentradas. No momento em que ocorrer nova precipitação, e se esta for abundante, vai arrastar as soluções concentradas que se encontravam no solo até às camadas mais profundas, podendo, deste modo, alterar a composição das águas subterrâneas (Lafuente, 1981).

Novas dissoluções

A dissolução de novos sais pode fazer variar o conteúdo dos sais já existentes. Por exemplo, um aumento da concentração do ião cloreto ou do ião sódio, permitirá uma maior dissolução de CaSO_3 e de CaCO_3 (Lafuente, 1981).

4.2 – EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA NO ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL

4.2.1 - DADOS DE CAMPO

A - Temperatura

No período compreendido entre 9 de Novembro de 2001 e 1 de Julho de 2002 foram registadas as variações da temperatura da água nos diferentes pontos de monitorização do ASB. Assim, e de modo a facilitar a visualização e análise da variação da temperatura, elaborámos o gráfico 5 com os valores registados em cada um dos pontos ao longo do período mencionado. No quadro 15 apresenta-se uma breve descrição estatística desses mesmos valores.

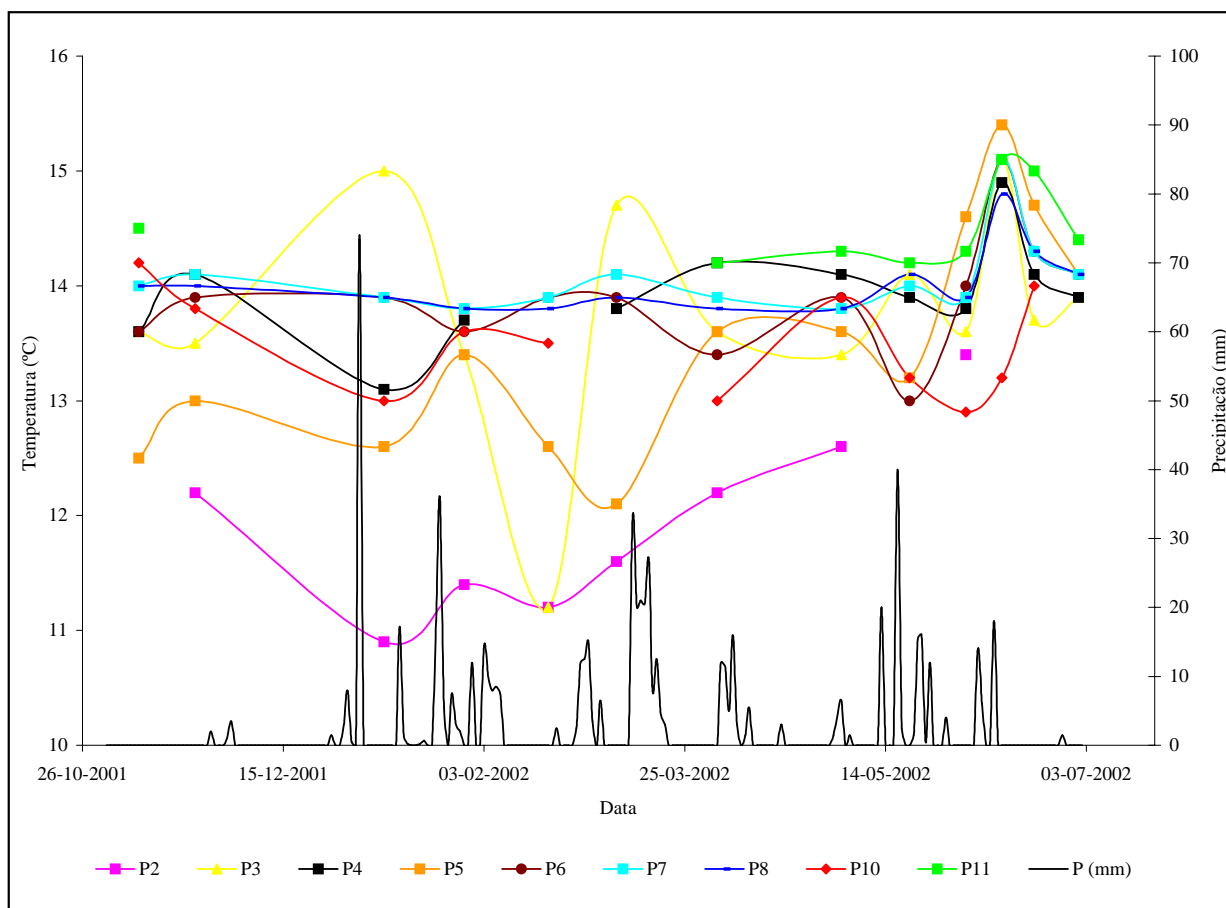


Gráfico 5 - Variação da temperatura (°C) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB.

Quadro 15 – Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB.

| ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL - ASB | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C) - Monitorização | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| Mínimo | 8,0 | 10,9 | 11,2 | 13,1 | 12,1 | 13,0 | 13,8 | 13,8 | 8,5 | 12,9 | 14,2 |
| Máximo | 20,8 | 13,4 | 15,1 | 14,9 | 15,4 | 15,1 | 15,1 | 14,8 | 16,6 | 14,2 | 15,1 |
| Média | 13,9 | 11,9 | 13,8 | 13,9 | 13,5 | 13,9 | 14,1 | 14,0 | 12,5 | 13,5 | 14,5 |
| D. Padrão | 3,7 | 0,8 | 1,0 | 0,4 | 1,0 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 2,6 | 0,5 | 0,4 |
| Coef. Var. | 0,27 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,21 | 0,03 | 0,02 |

Através da análise do gráfico 5, verificamos que alguns dos pontos apresentam um comportamento semelhante no que diz respeito à variação da temperatura. Tal é evidente nos pontos **P4, P6, P7, P8, P10 e P11**, cujas temperaturas oscilam entre 13°C e 15,1°C. Por sua vez, os pontos **P1, P2, P3, P5 e P9** revelam um comportamento bastante distinto dos anteriores demonstrando maiores oscilações. Por este motivo optámos por excluir deste gráfico os pontos P1 e P9, de modo a que as suas oscilações de temperatura não interferissem na visualização do comportamento dos restantes pontos.

As variações verificadas no ponto **P1** podem ser explicadas pelo facto de se tratar de um furo com uma conduta de água com 70 metros de comprimento, ao longo da qual a água está sujeita à influência da temperatura ambiente. Provavelmente, no momento da recolha das amostras de água neste ponto não se deixou correr a água o tempo suficiente para que a sua temperatura real fosse registada. Desta forma, os valores verificados correspondem possivelmente à temperatura da água acumulada na conduta e consequentemente influenciada pela temperatura ambiente, daí se verificar uma descida da temperatura nos meses de Inverno, atingindo-se a temperatura mais baixas de todos os pontos (8°C), e uma subida da mesma com o aproximar do Verão até uma máxima de 20,8°C, valor máximo registado nesta área de estudo.

O ponto **P9**, localizado na Ribeira de Reamondes, apresenta temperaturas bastante distintas das dos restantes pontos, motivo pelo qual não se encontra representado no gráfico 5. As elevadas oscilações verificadas poder-se-ão dever ao facto deste ponto corresponder a um curso de água superficial, exposto às constantes variações da temperatura ambiente.

No que diz respeito ao ponto **P2**, as variações de temperatura por ele exibidas podem ser o resultado das suas águas estarem a ser captadas através de uma mina, pela Câmara da Póvoa de Lanhoso, para abastecimento de populações, o que as poderá tornar mais vulneráveis às condições climáticas.

Relativamente aos pontos **P3** e **P5**, nos quais as variações de temperatura também são bem assinaláveis, verifica-se que estas oscilações se podem dever a infiltrações ocorridas nos momentos de maior precipitação, o que leva a uma diminuição da temperatura das suas águas.

Tal como os pontos P3 e P5, os restantes pontos também revelam uma clara influência pelas condições climáticas, o que é visível no gráfico 5, na monitorização do dia 12 de Junho, onde se registou a subida da temperatura das águas após um período de chuvas mais intensas.

B – Condutividade eléctrica

Os valores da condutividade registados em cada um dos pontos do ASB ao longo do período de monitorização encontram-se representados no gráfico 6, tendo sido efectuado, tal como para os valores da temperatura, um quadro com uma breve descrição estatística do parâmetro em causa (Quadro 16).

Através da análise do gráfico e do quadro, verificamos que os pontos que evidenciam as condutividades mais elevadas são o **P4** e **P11**, variando os valores do primeiro entre 107 $\mu\text{S/cm}$ e 171 $\mu\text{S/cm}$ e os do segundo entre 296 $\mu\text{S/cm}$ e 731 $\mu\text{S/cm}$. Estes valores extremamente elevados do ponto P11 devem-se ao facto de ter surgido um problema na caixa de protecção deste furo, tendo entrado água da lagoa de lixiviado mais próxima para o furo em causa. No momento em que efectuámos a primeira medição neste ponto (dia 9 de Setembro de 2001) registámos valores de condutividade na ordem dos 1800 $\mu\text{S/cm}$, pelo que optámos por deixar a água correr durante mais ou menos uma hora. Ao longo deste tempo fomos registando os valores de condutividade e verificámos que ao fim de 15 minutos os valores já tinham baixado para os 1139 $\mu\text{S/cm}$, passando para os 692 $\mu\text{S/cm}$ ao fim de 30 minutos e, ao fim de sensivelmente 60

minutos, a condutividade atingiu os 444 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Constatámos assim, que a condutividade baixava ao mesmo tempo que a água ia correndo, pois o sistema de extracção de água do furo, à medida que o tempo passava ia puxando água subterrânea localizada a maior profundidade e a maior distância e, conseqüentemente, menos afectada pelo lixiviado que se havia infiltrado. Devido ao problema apresentado por este furo optámos por não efectuar mais medições até este ser solucionado. Efectuámos nova medição no dia 2 de Abril de 2002, registando-se ainda condutividades bastantes elevadas, uma vez que o problema detectado não havia sido totalmente resolvido, o que se prolongou até à medição efectuada a 12 de Junho. As duas últimas medições que se seguiram, a 20 de Junho e 1 de Julho, foram efectuadas com indicações de que o problema já tinha sido totalmente solucionado; registaram-se valores na ordem dos 633 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 296 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Pensa-se assim que, com algum tempo de funcionamento, este piezómetro tenderá a atingir valores de condutividade inferiores.

Os restantes pontos apresentam valores de condutividade mais baixos, sendo o ponto **P10** aquele que exhibe os valores mais baixos.

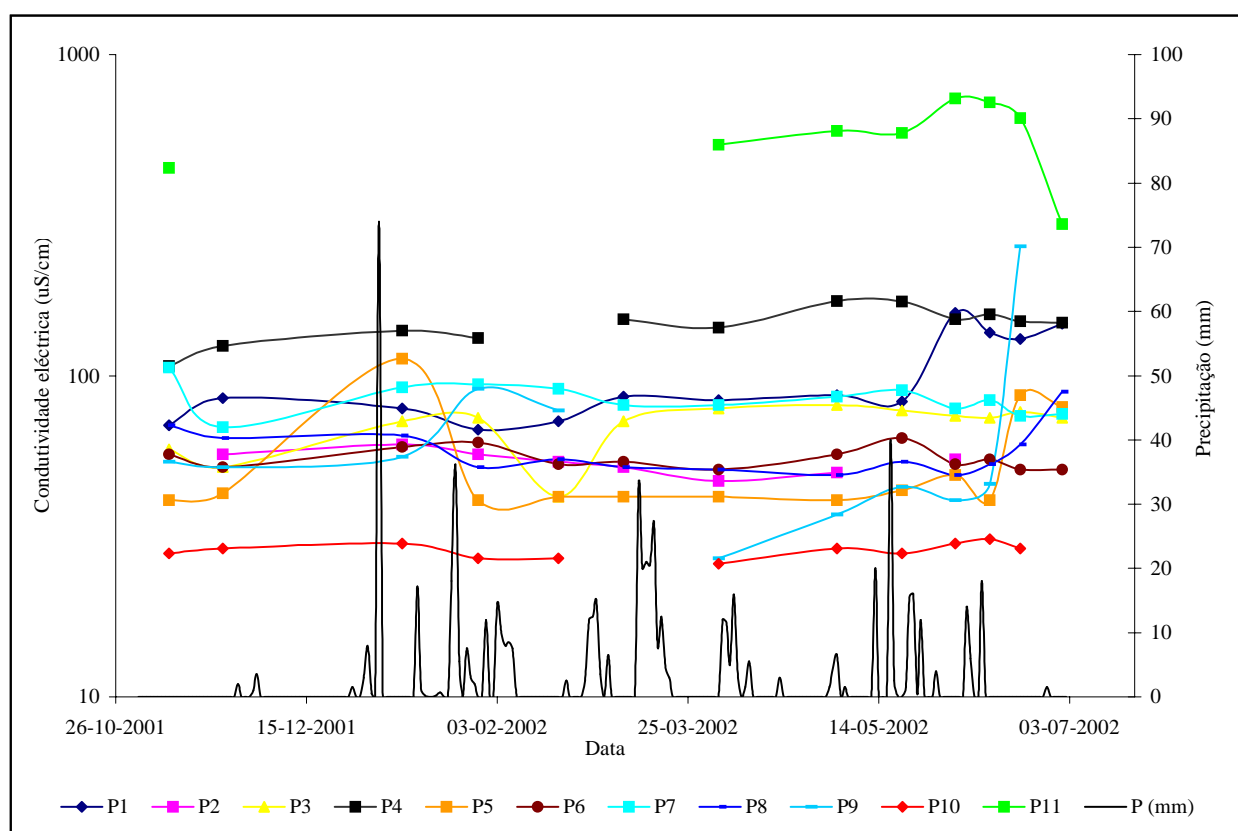


Gráfico 6 - Variação da condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB.

Quadro 16 – Estatística descritiva dos valores da condutividade eléctrica recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB.

| ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL - ASB | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Condutividade eléctrica (µS/cm) - Monitorização | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| Mínimo | 68,0 | 47,0 | 42,0 | 107,0 | 41,0 | 51,0 | 69,0 | 49,0 | 27,0 | 26,0 | 296 |
| Máximo | 157,0 | 61,0 | 81,0 | 171,0 | 113,0 | 64,0 | 106,0 | 89,0 | 253,0 | 31,0 | 731 |
| Média | 98,6 | 54,1 | 69,9 | 144,3 | 54,3 | 55,4 | 84,9 | 58,8 | 70,9 | 28,5 | 598,7 |
| D. Padrão | 31,3 | 4,4 | 11,6 | 18,1 | 23,4 | 4,4 | 9,7 | 11,3 | 63,0 | 1,5 | 101,5 |
| Coef. Variação | 0,32 | 0,08 | 0,17 | 0,13 | 0,43 | 0,08 | 0,11 | 0,19 | 0,89 | 0,05 | 0,17 |

De uma forma geral, não são detectadas grandes variações nos valores da condutividade ao longo do tempo, à excepção dos pontos **P1**, **P3**, **P5**, **P9** e **P11** que, em alguns momentos da monitorização, exibiram águas com condutividades ligeiramente diferentes do habitual.

Assim, o ponto **P1**, nos primeiros momentos de monitorização (de 9 de Novembro de 2001 a 20 de Maio de 2002), apresentou valores de 68 µS/cm a 87 µS/cm, sofrendo estes uma subida acentuada nas últimas medições efectuadas (de 3 de Junho a 1 de Julho), variando entre 130 a 157 µS/cm. Verifica-se, deste modo, uma tendência gradual para o aumento da condutividade eléctrica, o que nos leva a pensar que haja uma ligação hidráulica entre este ponto e o ponto **P11** que apresenta as suas águas deterioradas devido à infiltração das águas armazenadas nas lagoas de lixiviado.

No ponto **P3**, na medição de 19 de Fevereiro, confere-se uma descida significativa nos valores da condutividade, o que coincide com a descida da temperatura registada anteriormente após um longo período de precipitação. Tal, vem apoiar a justificação de que este piezómetro poderá captar níveis muito superficiais, daí a diminuição desses dois parâmetros. Além disso, é possível também que as águas do ponto **P4** exerçam influência sobre as de P3 e daí o agravamento da sua qualidade.

Também o ponto **P5** poderá captar águas muito pouco profundas, extremamente sensíveis aos eventos pluviosos. Isto poderá justificar a subida da sua condutividade na terceira medição e, tal como já havíamos constatado, diminuição da temperatura. O

ponto **P8** poderá também ter sofrido esta influência da precipitação na últimas medições, onde é visível uma ligeira subida dos valores da condutividade.

No que concerne às oscilações da condutividade verificadas no ponto **P9**, Ribeira de Reamondes, a subida destes valores deverá coincidir com os momentos de descargas orgânicas provenientes da actividade agro-pecuária a montante.

C - pH

Os valores de pH das amostras recolhidas ao longo do período de monitorização, representados no gráfico 7, situam-se sensivelmente entre 4,9 e 6,5, à excepção dos pontos P9 e P11 que possuem águas com pH mais elevado.

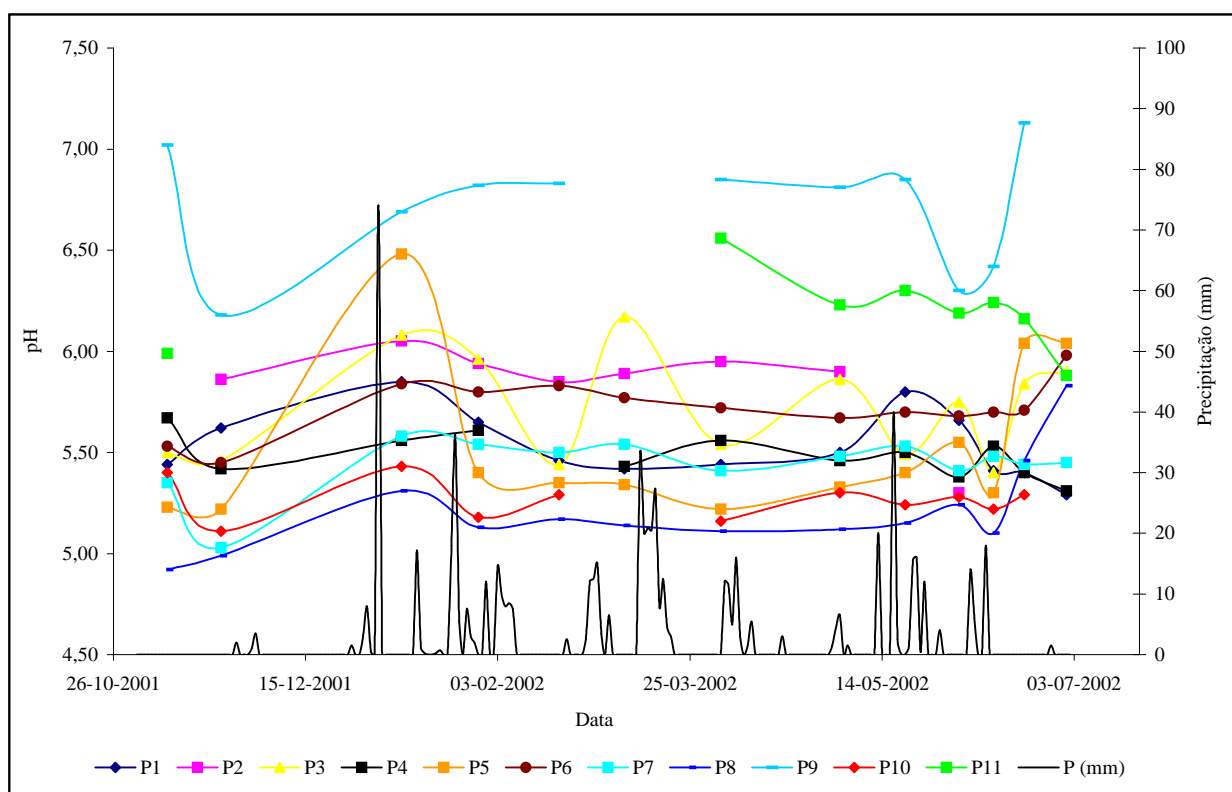


Gráfico 7 – Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização do ASB

O ponto **P9**, Ribeira de Reamondes, apresenta valores compreendidos entre 6 e 6,85, com dois casos pontuais em que este parâmetro chegou a ultrapassar os 7. Aqui, os valores mais elevados coincidem com momentos em que a água apresentava espuma ou outros sinais indicativos que tinha sido efectuada alguma descarga. Relativamente a

P11, ponto onde terá ocorrido entrada de lixiviado duma das lagoas, os valores são ligeiramente mais estáveis, situando-se entre 5,8 e 6,6. De todos os pontos de monitorização, o **P8** foi o que evidenciou valores mais baixos (entre 4,9 e 5,9), provavelmente por se situar num local com muita vegetação e consequentemente maior acumulação de ácidos húmicos.

Os pontos **P3** e **P5**, tal como nos restantes parâmetros, também evidenciam algumas oscilações nos valores de pH, o que poderá ser devido à já referida infiltração da precipitação a que estão sujeitos, para além do facto do ponto P3 ser a captação do ASB mais superficial, o que também contribui para a oscilação de pH verificada.

O ponto **P1** continuou a revelar oscilações nas últimas medições, provavelmente devido à já mencionada ligação hidráulica com o ponto P11.

Os dados estatísticos relativos ao pH podem ser observados no quadro 17. As médias dos valores deste parâmetro não diferem muito de ponto para ponto à excepção dos pontos P9 e P11, como já havia sido citado. Os coeficientes de variação são baixos o que indica pequena dispersão dos valores.

Quadro 17 – Estatística descritiva dos valores de pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB.

| ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL - ASB | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH - Monitorização | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| Mínimo | 5,29 | 5,30 | 5,40 | 5,31 | 5,22 | 5,45 | 5,03 | 4,92 | 6,18 | 5,11 | 5,88 |
| Máximo | 5,85 | 6,05 | 6,17 | 5,67 | 6,48 | 5,98 | 5,58 | 5,83 | 7,13 | 5,43 | 6,56 |
| Média | 5,53 | 5,84 | 5,72 | 5,49 | 5,53 | 5,72 | 5,44 | 5,21 | 6,72 | 5,26 | 6,19 |
| D. Padrão | 0,17 | 0,23 | 0,26 | 0,10 | 0,40 | 0,13 | 0,14 | 0,23 | 0,30 | 0,10 | 0,20 |
| Coef. Var. | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,03 |

Da análise dos registos do quadro 17 e do gráfico 7 depreende-se que a maioria dos valores deste parâmetro são inferiores a 6, pelo que as águas são classificadas como ácidas. Uma das razões para a existência no local deste tipo de água pode estar relacionado com o reduzido tempo de contacto água/rocha, não facilitando as reacções de hidrólise dos minerais silicatados. Deste modo, há um reduzido consumo de protões (H^+) da água e daí estas serem relativamente ácidas.

D - Eh

O potencial redox foi outro dos parâmetros a ter em consideração no processo de monitorização do ASB. Os valores medidos nas águas em estudo estão representados no gráfico 8; no quadro 18 apresenta-se ainda os dados estatísticos relativos ao parâmetro em causa, tal como tem sido efectuado para todos os parâmetros analisados até ao momento.

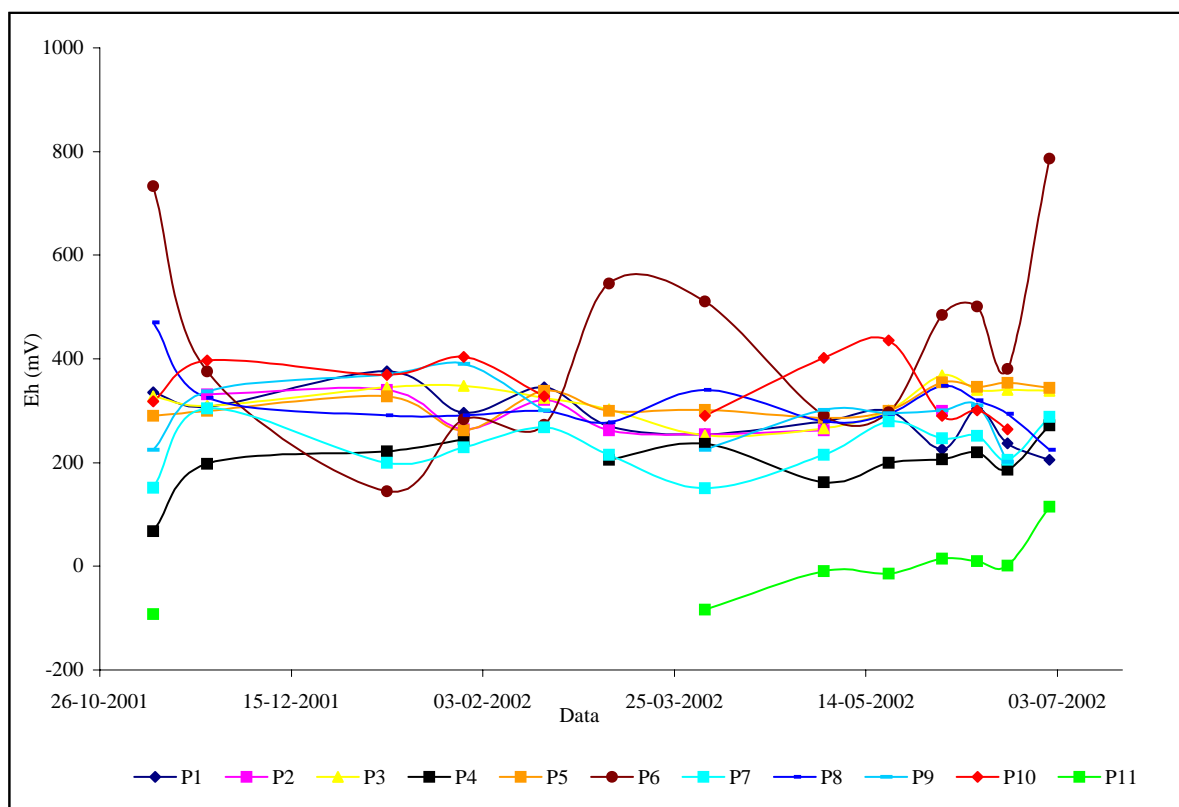


Gráfico 8 – Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização do ASB.

Quadro 18 – Estatística descritiva dos valores de Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados no ASB.

| ATERRO SANITÁRIO DA BRAVAL - ASB | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eh (mV)- Monitorização | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| Mínimo | 205 | 255 | 253 | 68 | 262 | 145 | 151 | 225 | 202 | 264 | -92 |
| Máximo | 376 | 340 | 368 | 272 | 355 | 786 | 305 | 470 | 390 | 436 | 115 |
| Média | 287,5 | 292,0 | 320,3 | 201,7 | 315,8 | 431,3 | 231,4 | 312,0 | 296,2 | 345,4 | -7,1 |
| D. Padrão | 49,1 | 35,4 | 33,0 | 50,9 | 29,9 | 186,2 | 48,3 | 56,8 | 59,3 | 58,2 | 64,1 |
| Coef. Var. | 0,17 | 0,12 | 0,10 | 0,25 | 0,09 | 0,43 | 0,21 | 0,18 | 0,20 | 0,17 | -9,00 |

Verifica-se que o ponto **P11** é o que apresenta valores de Eh mais baixos, chegando mesmo a atingir valores negativos, o que se deve, possivelmente, ao facto das águas deste ponto terem estado em contacto com os lixiviados das lagoas, o que pode ter feito com que o oxigénio aí presente fosse gasto nas diferentes reacções que devem ter ocorrido.

Por outro lado, o ponto **P6** foi o que evidenciou os valores mais elevados, no entanto com grandes oscilações. Esta situação poderá estar relacionada com uma desinfecção efectuada pelo ASB a este ponto.

O potencial redox na Ribeira de Reamondes, ponto **P9**, sofreu algumas variações ao longo da monitorização, tendo descido nos momentos em que houve suspeita de descargas de águas residuais das unidades agro-pecuárias devido à quantidade de espuma presente na água (dias 29 de Janeiro e 20 de Junho). Os microrganismos aí presentes poderão ter consumido grande parte do oxigénio dissolvido na água pelo que o Eh baixou.

As médias dos valores deste parâmetro são algo distintas de ponto para ponto, assim como os valores dos máximos e mínimos. Os coeficientes de variação, por sua vez, são um pouco elevados, o que nos indica uma ampla dispersão dos valores.

4.2.2 - DADOS DE LABORATÓRIO

Apresenta-se de seguida um estudo comparativo dos resultados obtidos após a análise das amostras de água do ASB em laboratório. As concentrações dos iões fundamentais encontram-se expressas em mg/l e as dos elementos menores e vestigiais em ppb. Estes resultados foram analisados de acordo com a legislação em vigor para a qualidade da água para consumo humano – Decreto Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro.

A - Aniões

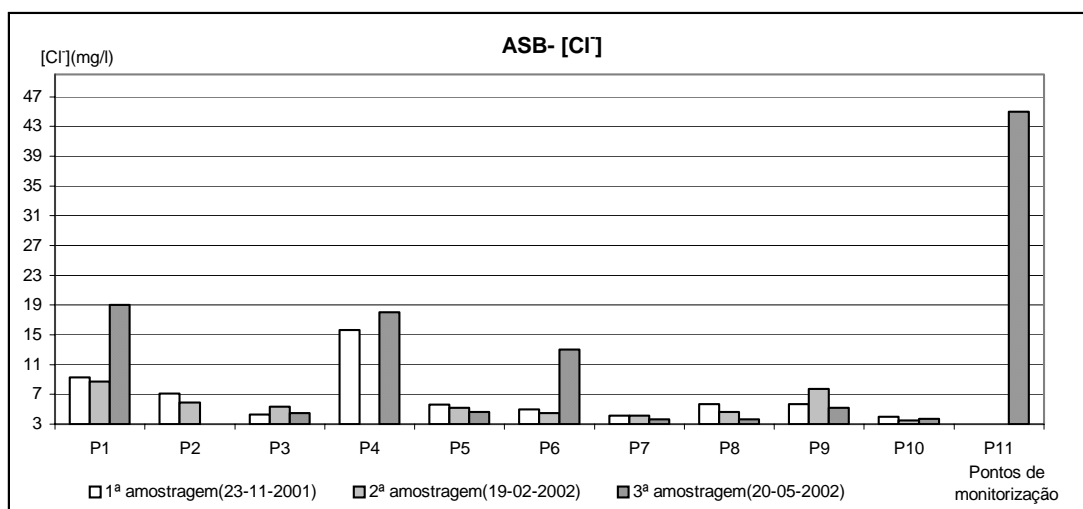
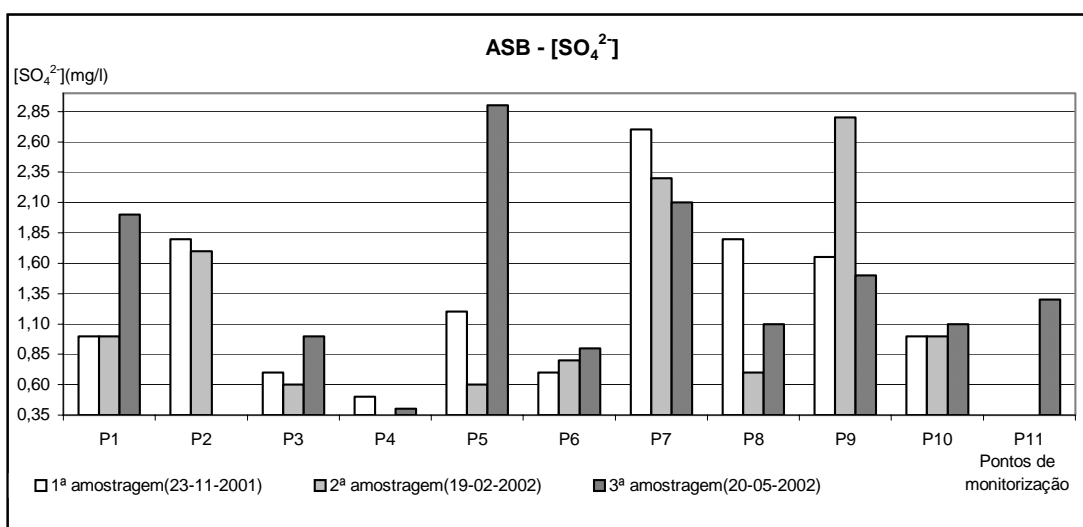
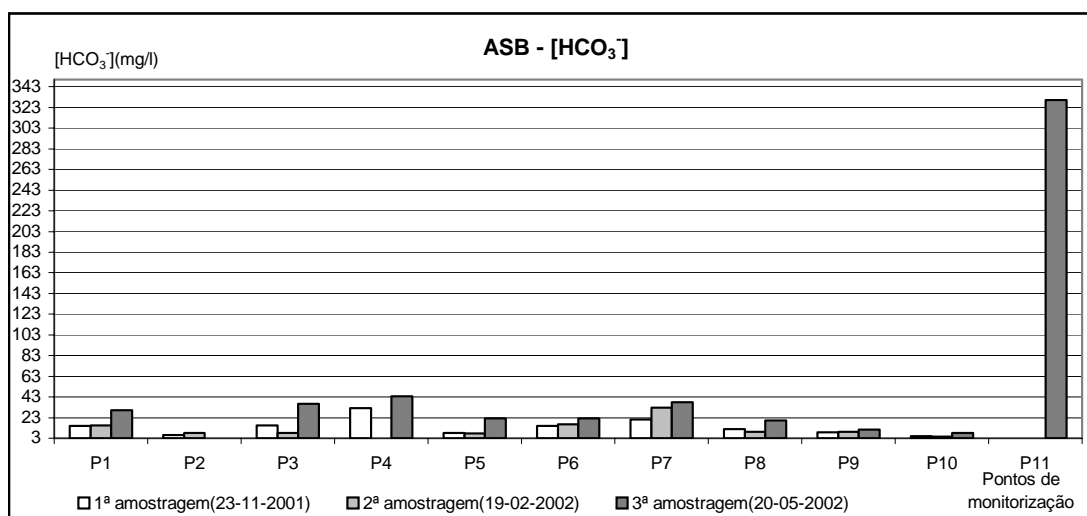
Os aniões maiores analisados foram: o **cloreto**, o **sulfato**, o **bicarbonato** e o **nitrato**. Nos gráficos 9, 10, 11 e 12 apresentam-se as concentrações destes aniões nas

amostras de água colhidas nas três campanhas (Novembro, Fevereiro e Maio), existindo casos que, por motivos variados, aos quais fomos alheios (não se encontrar ninguém em casa no momento da colheita, avarias nos sistemas de captação da água dos poços, etc.), não foi possível proceder à recolha.

Os dados mostram que o **anião dominante** nas amostras de água é o HCO_3^- . O cloreto é o segundo anião mais importante na composição das águas analisadas, seguindo-se o nitrato e, por fim, o sulfato, que é o que apresenta menores concentrações. Todos os aniões presentes mostram grande variabilidade entre as diferentes amostras, mostrando o sulfato o comportamento mais homogéneo.

No que diz respeito ao anião dominante, HCO_3^- (Gráfico 11), cerca de 79% das amostras de água surgem com valores inferiores a 30,5 mg/l enquanto que uma minoria (17%) apresenta valores compreendidos entre 30,5 mg/l e 61 mg/l. Apenas 3,4% apresenta valores superiores a 61 mg/l. Esta percentagem corresponde à última campanha efectuada no ponto P11, o qual revela teores bastante elevados, quando comparados com os restantes pontos, ultrapassando os 300 mg/l.

O bicarbonato apresenta uma certa dispersão de valores. Na 3ª campanha regista-se uma subida nas suas concentrações em todos os pontos de monitorização. Citam-se, por exemplo, os pontos de água P3, P4 e P7 que apresentam, na colheita de Maio, concentrações de 36,45 mg/l, 43,52 mg/l e 39,74 mg/l, respectivamente. O ponto P11 possui uma concentração muito superior à dos pontos anteriores, 348,35 mg/l, o que poderá ser causado pelo problema de infiltração do lixiviado numa das lagoas neste piezómetro, pelo que o valor médio registado para esta campanha se deva em parte a este valor anormalmente elevado. Excluindo o ponto P11, os pontos **P4** e **P7** são os que evidenciam teores de HCO_3^- mais elevados. Por sua vez, os pontos com as concentrações mais baixas são os pontos **P2** e **P10**, talvez devido à distância que apresentam em relação à célula de deposição de resíduos do ASB.

Gráfico 9 – Concentração de Cl⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB.Gráfico 10 – Concentração de SO₄²⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB.Gráfico 11 – Concentração de HCO₃⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB.

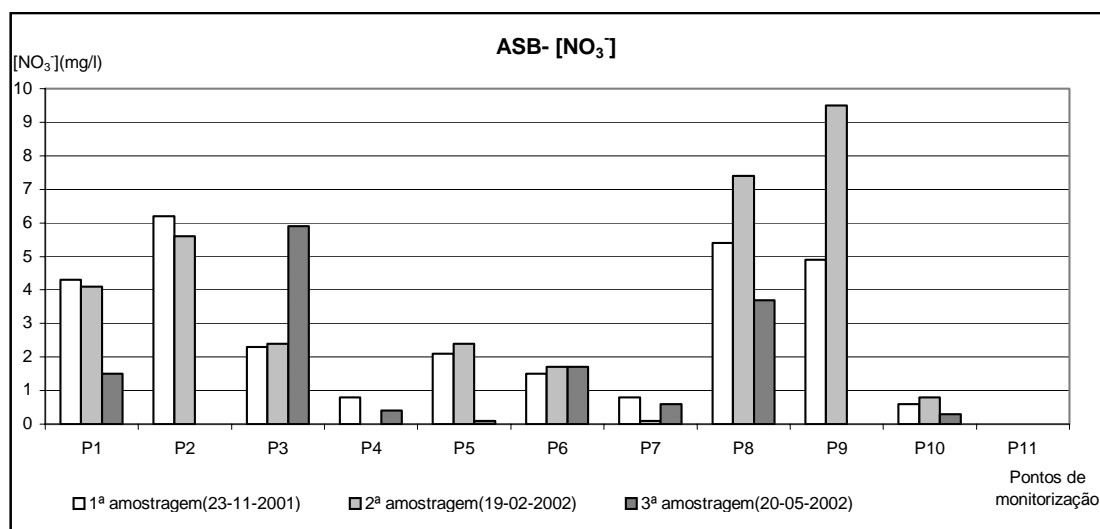


Gráfico 12 – Concentração de NO₃⁻ nas três campanhas efectuadas no ASB.

No que diz respeito ao **cloreto** (Gráfico 9), a maioria das amostras (89%) possui teores inferiores a 17,5 mg/l. As restantes, com valores superiores, dizem respeito à última campanha efectuada nos pontos P1, P4 e P11. Estes são, assim, os pontos com as concentrações mais elevadas. Nenhuma das amostras ultrapassa o VP de 250 mg/l.

O gráfico 10, relativo à concentração de **sulfato**, mostra que mais de metade das amostras, 65,5%, têm este ião em teores iguais ou superiores a 1,5 mg/l, revelando as restantes 34,5% valores de sulfato superiores, sem, no entanto, ultrapassarem o VP estabelecido no Decreto Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro (VP = 250 mg/l).

Os pontos **P7** e **P9** são os que apresentam as concentrações médias mais elevadas e o **P4** o que tem as concentrações mais baixas, provavelmente devido aos baixos valores de Eh que possui.

Os valores de **nitrato** (Gráfico 12) encontram-se todos bastante abaixo do VP estabelecido, 50 mg/l. Aproximadamente 69% das amostras possui concentrações inferiores a 3,87 mg/l; 27% apresentam concentrações entre 3,87-7,75 mg/l e 3,4% superiores a 7,75 mg/l.

Destacam-se, com concentrações mais elevadas, os pontos **P9**, **P2** e **P8**. Os pontos **P3** e **P1**, quando comparados com os restantes, também evidenciam teores de nitrato significativos, contudo essas concentrações altas não se verificam ao longo das três campanhas. No caso do ponto P1 ocorrem nas duas primeiras campanhas e relativamente ao ponto P3 só se verifica na última campanha. As concentrações médias

mais baixas pertencem aos pontos **P7**, **P10** e **P4**. O ponto **P11** apresentou nitratos inferiores a 0,01 mg/l, em princípio pelas suas fortes condições redutoras.

Das diferentes correlações estabelecidas entre os aniões, a mais evidente refere-se ao par $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ ($r^2 = 0,7884$). No entanto, esta aparente relação deve-se essencialmente aos elevados teores apresentados nas águas do ponto P11, pelo que, após a sua exclusão, a correlação inicialmente registada entre o cloreto e o bicarbonato desce significativamente ($r^2 = 0,2257$). No entanto, estes resultados não significam que o HCO_3^- e o Cl^- tenham origens distintas. Podem ocorrer pelo facto do ião bicarbonato ter uma origem essencialmente biológica, isto é, da libertação de CO_2 ao longo dos processos de decomposição biológicos, enquanto que o cloreto resulta não só de processos biológicos mas também físicos.

Uma vez que a condutividade traduz, numa primeira aproximação, a mineralização de uma água, a correlação que a mesma evidenciar com os diferentes iões poderá ser um indicador da importância que cada um poderá exercer no aumento das espécies em solução. Perante isto, após a análise das correlações entre os diferentes aniões e a condutividade das águas do ASB, sobressaem as relações estabelecidas com o Cl^- e o HCO_3^- , tal como é possível observar nos gráficos 13 e 14.

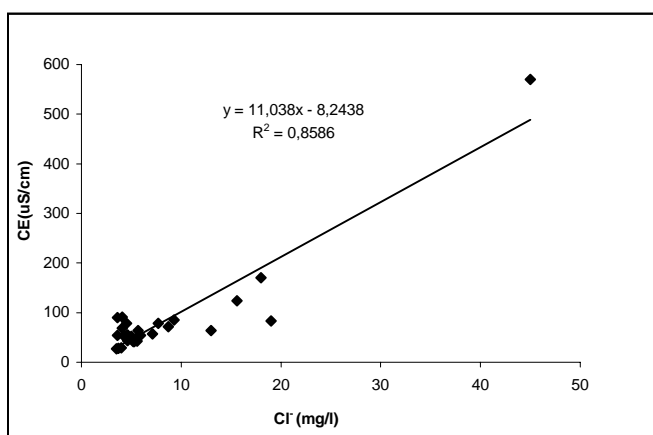


Gráfico 13 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl^- no ASB (dados das três campanhas).

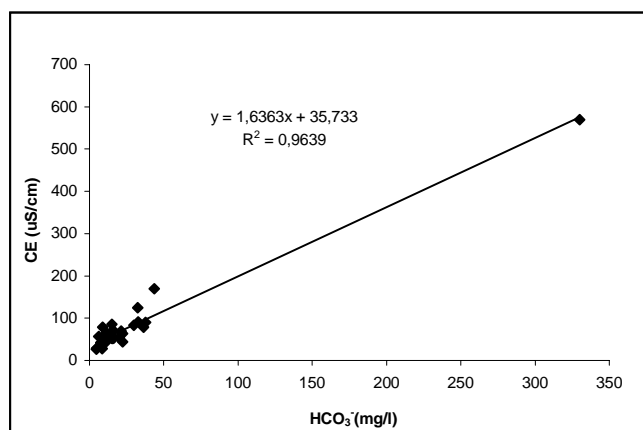


Gráfico 14 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO_3^- no ASB (dados das três campanhas).

Todavia, tal como nas correlações anteriores, esta relação diminui a partir do momento em que são eliminados os valores de P11, não deixando porém de ser significativas (Gráficos 15 e 16). Estes dois iões parecem, deste modo, dar algum contributo para a mineralização das águas do ASB.

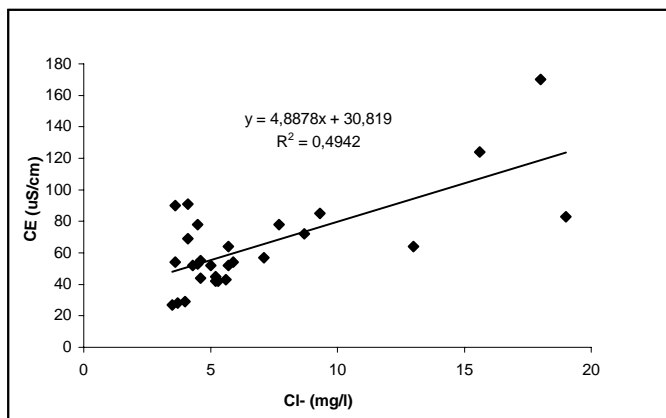


Gráfico 15 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl^- no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11).

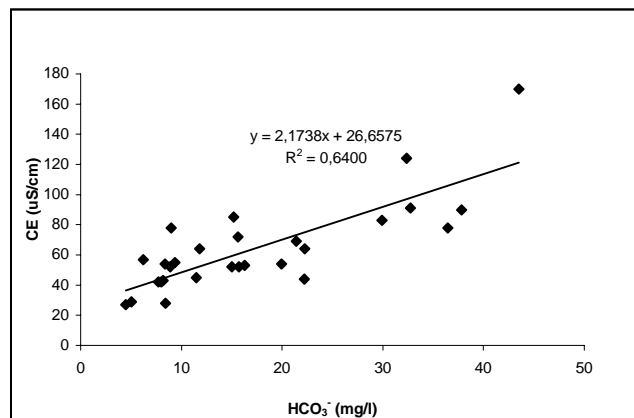


Gráfico 16 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração do HCO_3^- no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11)

B - Catiões

Os gráficos 17, 18, 19, 20 e 21 apresentam os teores dos catiões maiores presentes nas águas analisadas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe). Verifica-se que os valores médios mais elevados para todos os catiões referem-se à colheita de Maio, sendo o **sódio o catião predominante**, seguido do cálcio.

O ponto de água **P11** é o que apresenta as concentrações mais elevadas para todos os catiões em causa. No entanto, há outros pontos que também exibem teores significativos. Citamos o ponto **P4**, por exemplo, que é o ponto com maior teor de **sódio** após o P11, seguindo-se os pontos **P6** e **P1**. Relativamente ao **potássio**, o ponto **P9** é o que apresenta teores mais elevados para além do P11, o que se deve ao facto das águas deste ponto serem águas superficiais (Ribeiro de Reamondes), o que faz com que a retenção do potássio por parte das argilas ocorra em menor grau. Quanto ao **cálcio**, os valores máximos registados correspondem aos pontos **P1** e **P7** e, no que diz respeito ao **ferro**, os valores mais altos correspondem aos pontos **P1**, **P4** e **P7**. Nos dois primeiros,

as concentrações deste ião sobrepõem o VP (0,2 mg/l). No caso do **magnésio** não se verificam teores elevados, podendo mencionar-se os pontos **P1**, **P3** e **P4** como os que apresentam valores mais altos.

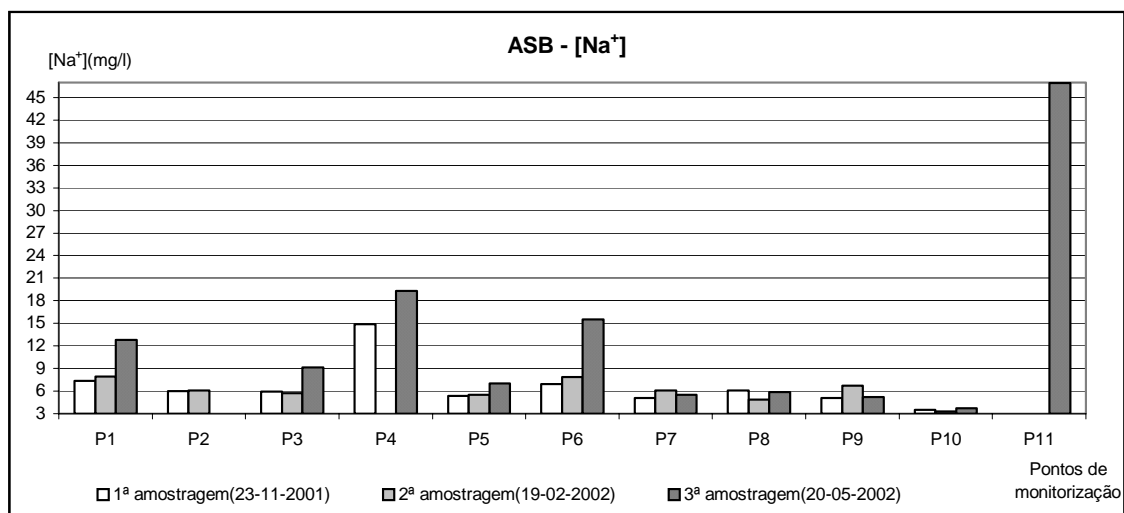


Gráfico 17 – Concentração de Na⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB.

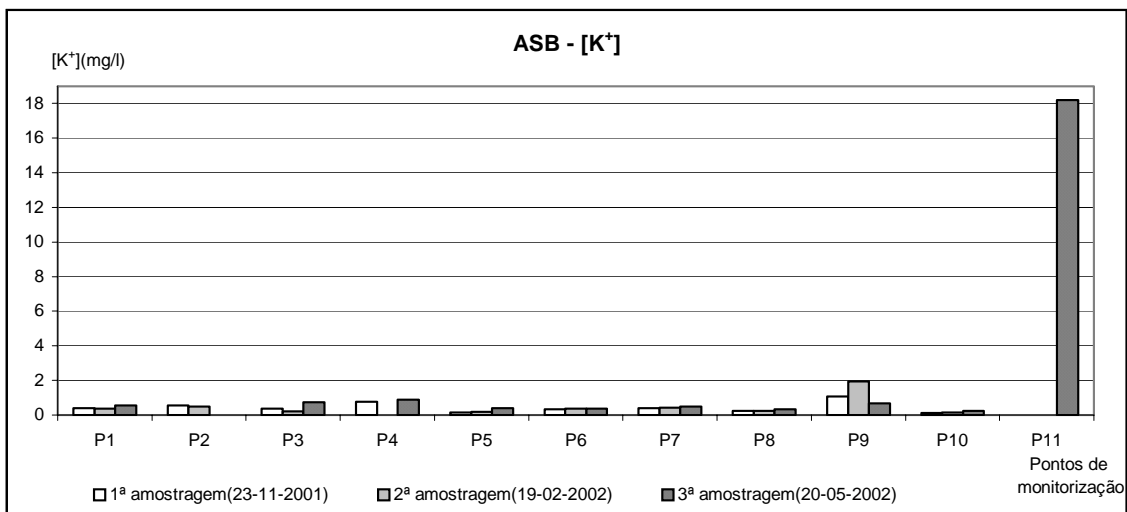


Gráfico 18 – Concentração de K⁺ nas três campanhas efectuadas no ASB.

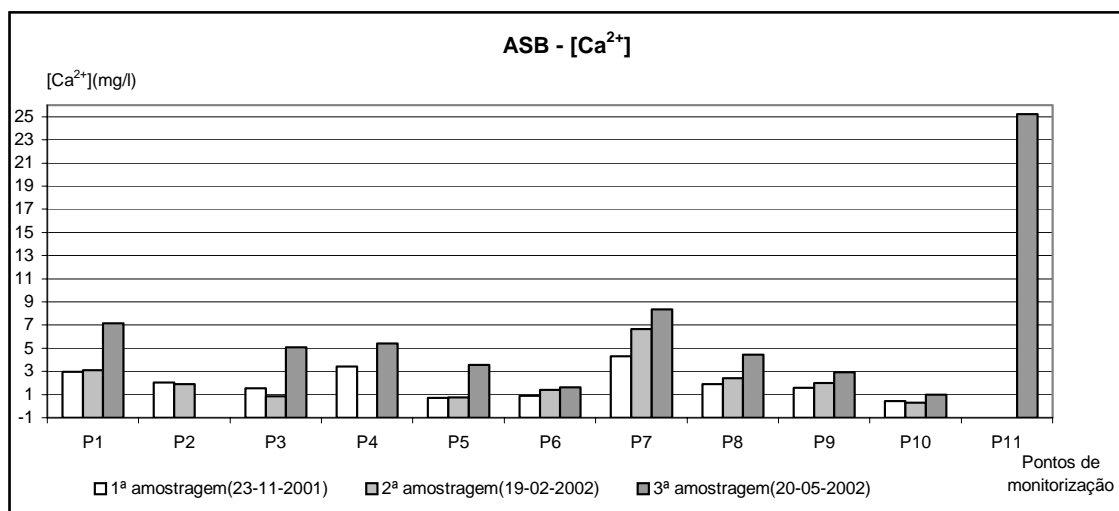
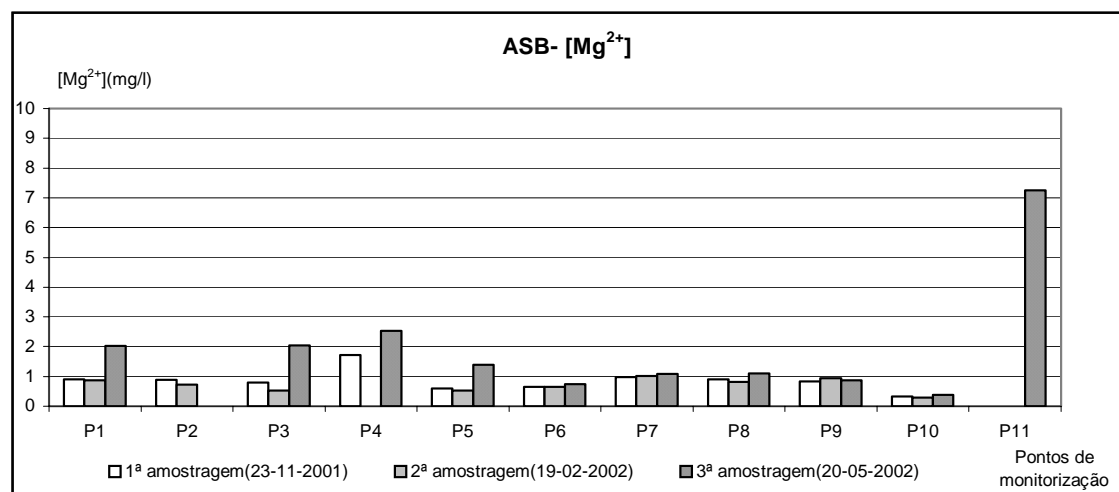
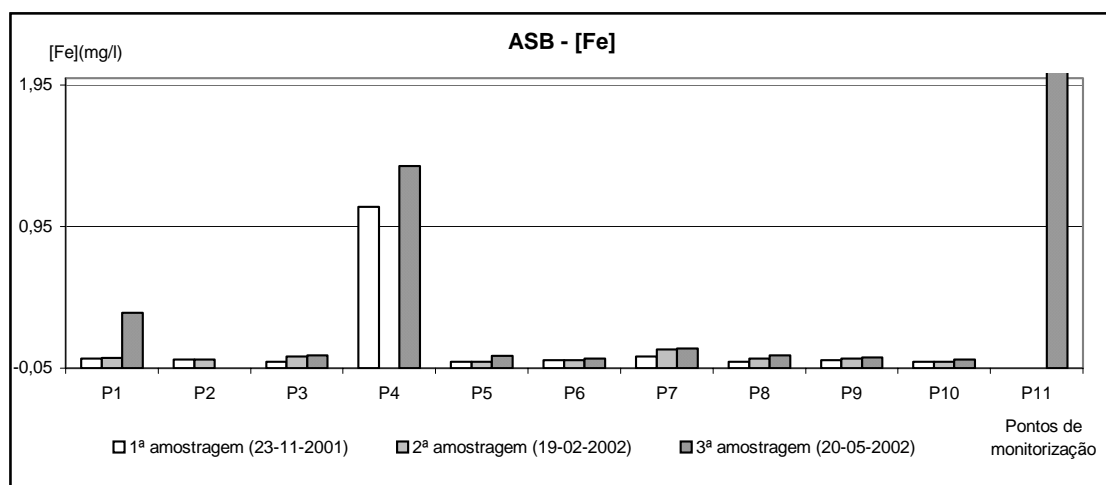
Gráfico 19 – Concentração de Ca^{2+} nas três campanhas efectuadas no ASB.Gráfico 20 – Concentração de Mg^{2+} nas três campanhas efectuadas no ASB.

Gráfico 21 – Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas no ASB.

No gráfico 17, relativo ao **sódio**, verifica-se que 38% das amostras possui concentrações inferiores a 5,75 mg/l, situando-se a maioria, 45%, em concentrações compreendidas entre 5,75 e 11,5 mg/l. Apenas 17% é que ultrapassam os 11,5 mg/l.

No que diz respeito ao **potássio** (Gráfico 18), registou-se uma grande homogeneidade de valores possuindo quase a totalidade das amostras, 96,5%, concentrações inferiores a 2,43 mg/l. A percentagem de 3,5% corresponde ao teor de 18,20 mg/l apresentado pelo ponto P11.

Cerca de 79% das amostras de água contém teores de **cálcio** inferiores a 5 mg/l, enquanto que 17% apresenta valores compreendidos entre os 5 mg/l e 10 mg/l (Gráfico 19). Apenas uma amostra ultrapassa os 10 mg/l (ponto P11).

No que concerne ao **magnésio**, aproximadamente 82% das amostras possui concentrações inferiores a 1,5 mg/l; 13% apresenta concentrações entre 1,5 e 3 mg/l e 3,4% possui teores superiores a 3 mg/l (Gráfico 20).

Relativamente ao **ferro**, gráfico 21, os valores registados não evidenciam grandes diferenças entre si, apresentando 89% das amostras teores inferiores a 0,435 mg/l. Apenas uma pequena percentagem é que possui valores superiores, não chegando, no entanto, a ultrapassar 1,75 mg/l. O ponto P11 constitui uma excepção, apresentando uma concentração de 35 mg/l, aproximadamente. Do total de amostras, aproximadamente 14% excedem o VP, correspondendo estas às águas dos pontos P1, P4 e P11.

Efectuando uma observação generalizada sobre as diferentes concentrações é visível um ligeiro aumento dos teores da primeira para a última campanha, mais especificamente no que se refere ao sódio, cálcio, ferro e, de modo menos significativo, ao magnésio. Os pontos onde tal é mais evidente são: P1, P3, P4, P5 e P6.

Os catiões não apresentam correlações significativas entre si nem com a condutividade eléctrica das águas, o que parece indicar que estes não são os principais responsáveis pela mineralização das mesmas.

C – Aniões/Catiões

Das relações estabelecidas entre os aniões e os catiões, as mais evidentes referem-se aos pares, **cálcio/bicarbonato** ($r^2=0,7110$) e **magnésio/bicarbonato** ($r^2=0,6921$). Estas relações estão representadas nos gráficos 22 e 23, respectivamente.

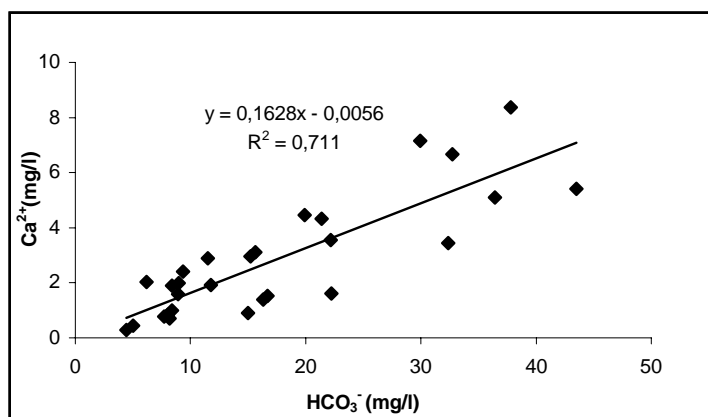


Gráfico 22 – Diagrama de dispersão da concentração de Ca^{2+} em função da concentração de HCO_3^- no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11).

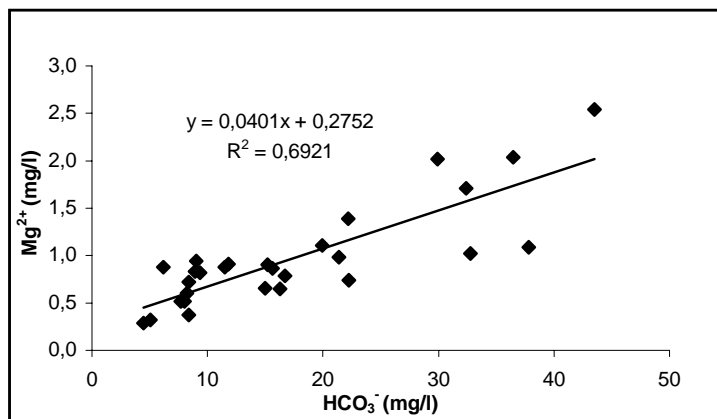


Gráfico 23 – Diagrama de dispersão da concentração de Mg^{2+} em função da concentração de HCO_3^- no ASB (dados das três campanhas, excluindo o ponto P11).

Os resultados obtidos entre o bicarbonato e os catiões cálcio e magnésio levam-nos a colocar a hipótese dos processos de decomposição dos resíduos acumulados no ASB, para além de contribuírem com HCO_3^- para a água, proveniente da produção de CO_2 , poderão também colaborar com a libertação de alguns catiões, como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} .

D - Sílica

Com vista a esclarecer o papel desempenhado pela hidrólise dos silicatos na mineralização das águas analisadas, procede-se de seguida ao estudo da correlação entre os teores de sílica das amostras e a sua mineralização, expressa pela condutividade.

Assim, do número total de amostras, aproximadamente 14% evidenciam teores de sílica inferiores a 7,5 mg/l; 58% apresentam valores compreendidos entre 7,5-15 mg/l e 27,5% possuem concentrações superiores a 15 mg/l (Gráfico 24).

Globalmente, ocorre um aumento das concentrações da primeira para a segunda campanha, embora em alguns pontos se verifique um comportamento contrário. É o caso do ponto **P3**, que sofreu uma descida no teor de sílica na 2ª campanha, e dos pontos **P9** e **P10**, que mantêm as suas concentrações relativamente constantes. Da segunda para a última campanha continua a verificar-se um aumento (o ponto P7 constitui uma excepção). Os pontos com as concentrações de sílica mais elevadas são o P6 e o P11.

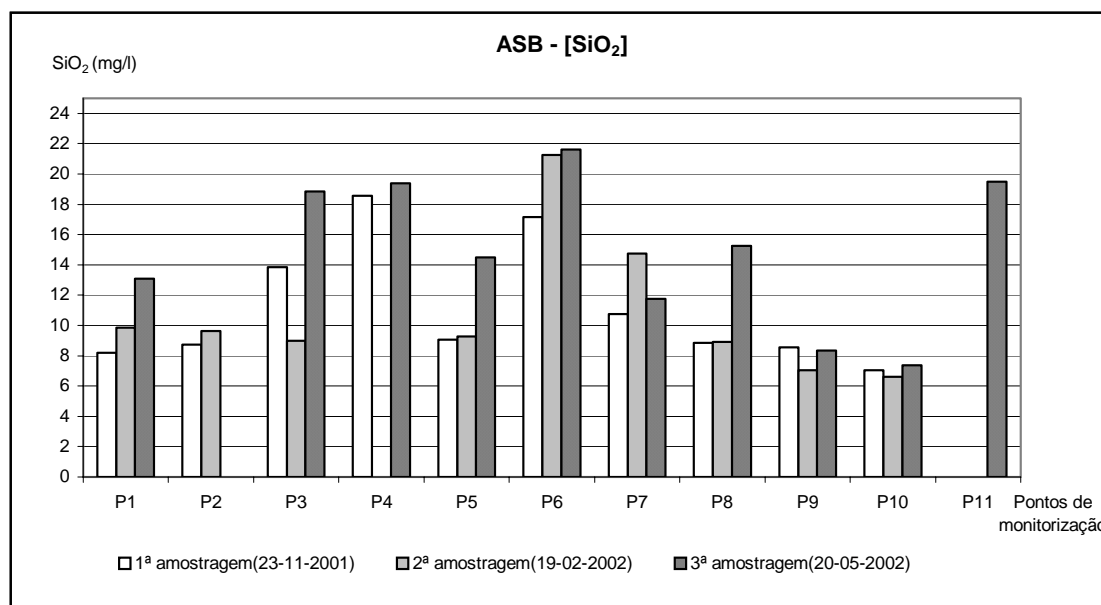


Gráfico 24 – Concentração de SiO₂ nas três campanhas efectuadas no ASB.

A correlação entre a mineralização das águas, expressa pela condutividade das mesmas, e os teores em sílica encontra-se representada no gráfico 25. Constata-se que a correlação entre estes dois parâmetros é muito baixa, pelo que, em princípio, a sílica e a

hidrólise dos silicatos não terá grandes responsabilidade nos valores de condutividade apresentados pelas águas.

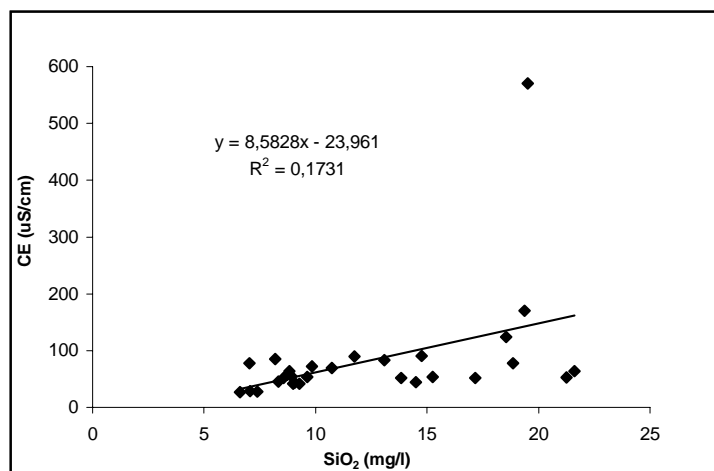


Gráfico 25 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SiO_2 no ASB (dados das três campanhas).

E - Iões menores

Os iões menores também constituíram objecto de análise neste estudo, contudo faz-se apenas referência aos catiões Mn e Al, uma vez que estes foram os que surgiram em concentrações superiores às consideradas normais para as águas subterrâneas, segundo Reimann e Caritat (1998), e foram também aqueles que excederam, em algumas campanhas, o VP estabelecido no Decreto Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro.

As concentrações referentes a estes iões nas três campanhas encontram-se representadas nos gráficos 26 e 27.

Verifica-se que são poucos os pontos de monitorização que não possuem águas com teores de manganês e alumínio superiores ao VP estipulado por lei para as águas de consumo (no caso do manganês: VP=50 ppb; no caso do alumínio: VP=200 ppb). Constituem excepção os pontos P2 (nascente), P6 (Furo este), P9 (ribeira de Reamondes) e P10 (nascente). Relativamente a P2, P9 e P10, tal poderá dever-se à maior distância que estes pontos apresentam em relação à célula de deposição do ASB; quanto a P6, embora se encontre bastante próximo da célula de deposição de resíduos,

está situado a cotas ligeiramente mais elevadas que os restantes, uma vez que o relevo da área onde está implantado o ASB diminui de NE para SW e de Norte para Sul. Esta localização, possivelmente, protegerá as águas do referido ponto de eventuais drenagens de águas subterrâneas lixiviantes que ocorrem em direcção à Ribeira de Reamondes. As fortes condições oxidantes verificadas neste ponto (Eh médio de 431 mV) e os valores de pH superiores a 5,5, poderão também ter contribuído para a diminuição da mobilidade do alumínio e do manganês, e daí a sua escassa presença nas águas do ponto P6.

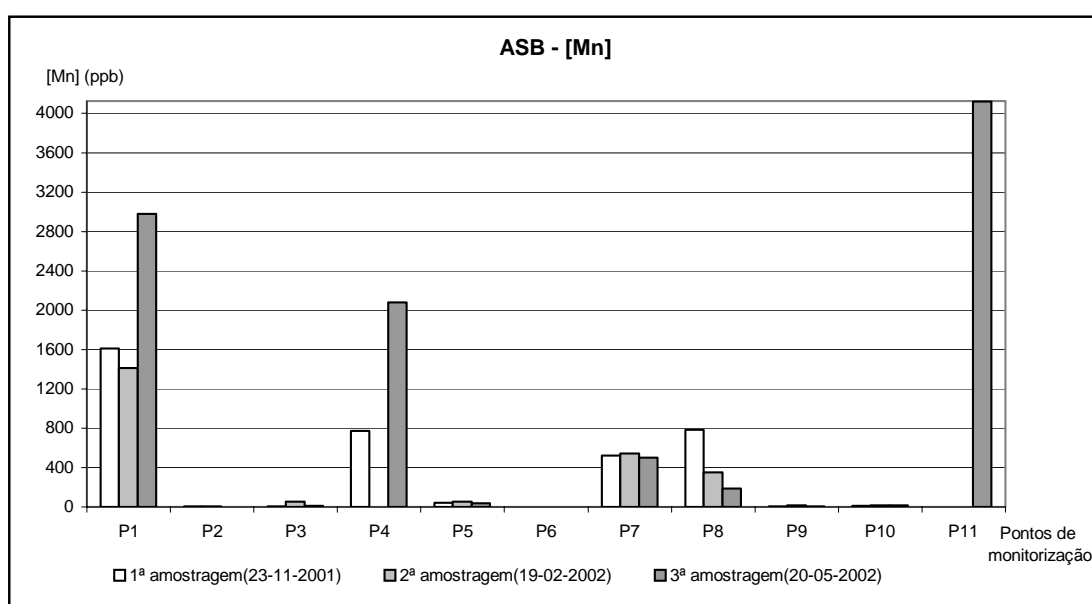


Gráfico 26 – Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas no ASB.

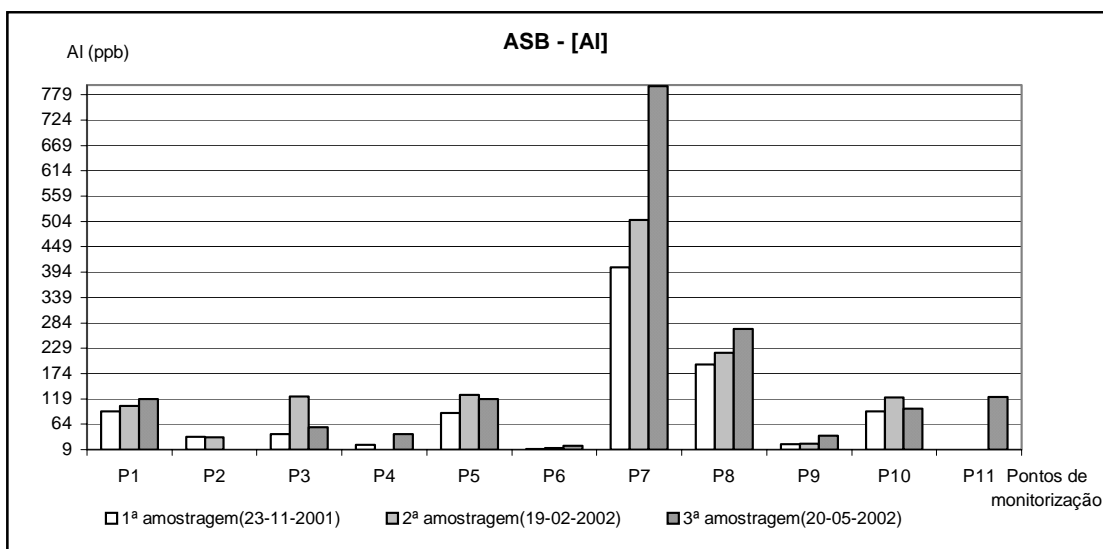


Gráfico 27 – Concentração de Al nas três campanhas efectuadas no ASB.

Os pontos **P1**, **P4** e **P11** são os que evidenciam teores de **manganês** mais elevados. Seguem-se, com concentrações ligeiramente inferiores, os pontos **P7** e **P8** (Gráfico 26). Os elevados valores dos três primeiros, mais especificamente do ponto **P4**, pode ser o resultado da sua já referida proximidade da célula de deposição de resíduos e, no caso do ponto **P1**, da possível ligação hidráulica estabelecida com o ponto **P11**. É ainda de referir que as águas destes pontos revelaram, na análise de catiões, concentrações de ferro consideráveis, o que poderá também justificar os elevados valores de Mn, uma vez que estes dois iões, de acordo com Lafuente (1981), surgem normalmente em parceria.

Por sua vez, os pontos **P7** e **P8**, embora também estejam relativamente próximos da célula de deposição de resíduos, apresentaram ao longo da monitorização valores de Eh ligeiramente superiores aos dos pontos anteriores, o que, tal como se verificou com P6, poderá ter diminuído a mobilidade do catião manganês e consequentemente a sua concentração nas águas desses pontos.

No que concerne ao **alumínio** (Gráfico 27), verifica-se que os pontos **P1**, **P4** e **P11**, que anteriormente revelaram teores significativos de manganês, apresentam agora baixas concentrações de alumínio. Esta situação poderá ser o resultado das águas dos pontos **P4** e **P11** possuírem valores de pH superiores a 5,5, o que diminui a solubilidade do alumínio na água (Reimann e Caritat, 1998). Os baixos valores de alumínio no ponto **P1** podem ser o reflexo das concentrações também inferiores em **P11**.

Os pontos **P7** e **P8** apresentam os valores de alumínio mais elevados. Tal pode ser devido ao facto das suas águas possuírem pH geralmente inferior a 5,5, o que, como referido, aumenta a solubilidade do Al.

F – Elementos traço

Os elementos traço presentes nas águas do ASB em concentrações superiores às consideradas comuns para as águas subterrâneas, de acordo com Reimann e Caritat (1998), e que surgiram também em teores mais elevados que o seu VP foram: As, Ba, Cu, Ni, Pb e Zn. As respectivas concentrações encontram-se representadas nos gráficos 28 a 33.

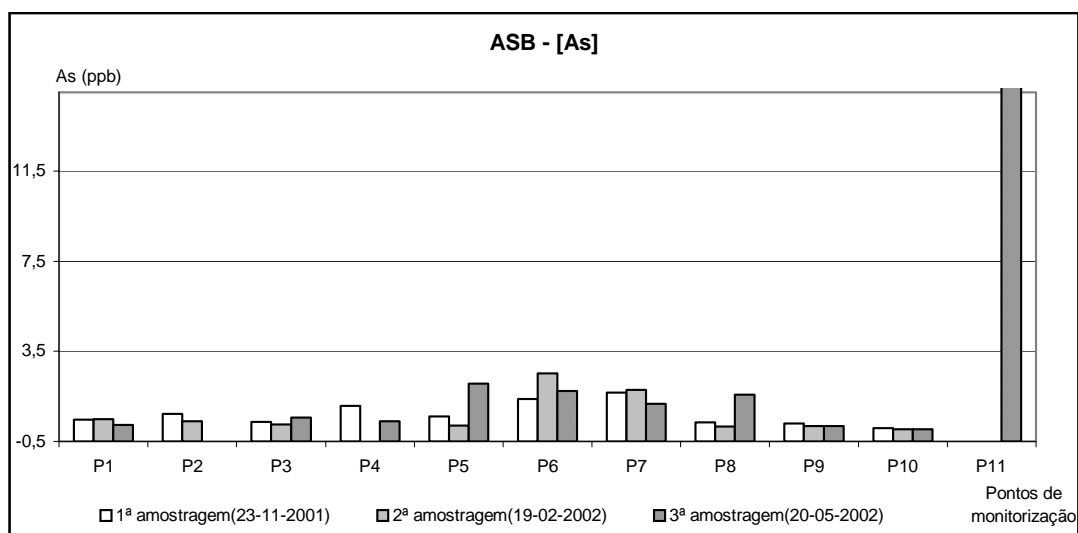


Gráfico 28 – Concentração de As nas três campanhas efectuadas no ASB.

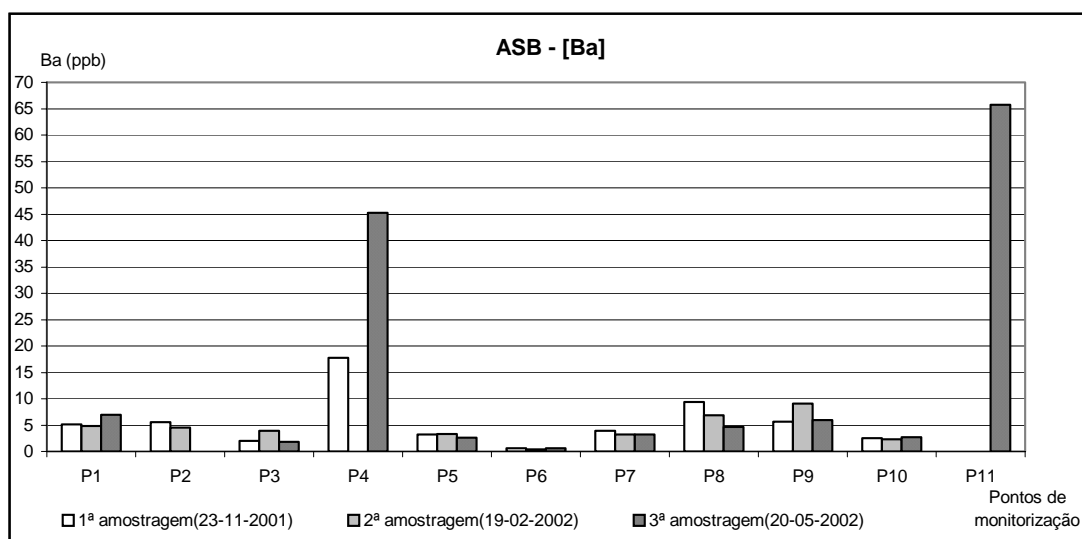


Gráfico 29 – Concentração de Ba nas três campanhas efectuadas no ASB.

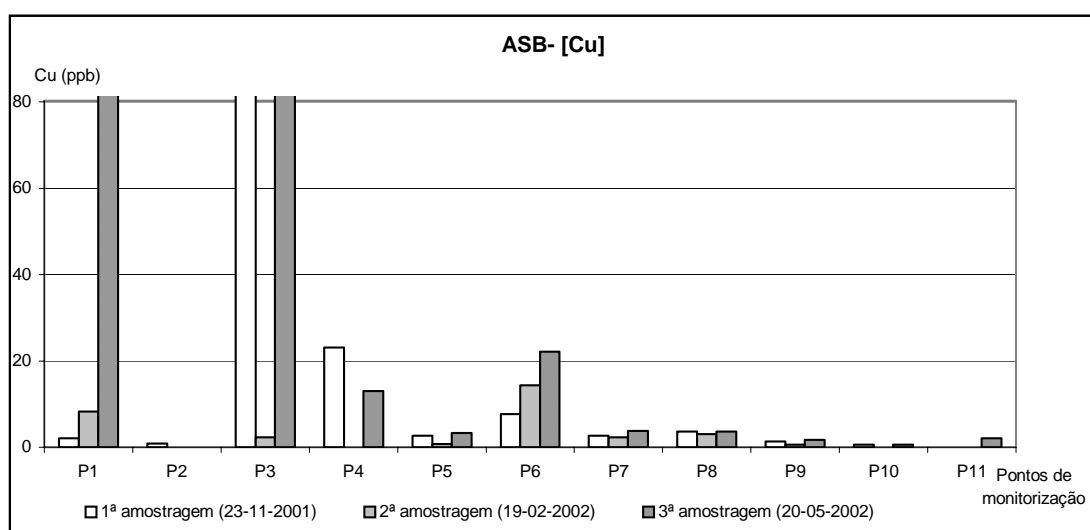


Gráfico 30 – Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas no ASB.

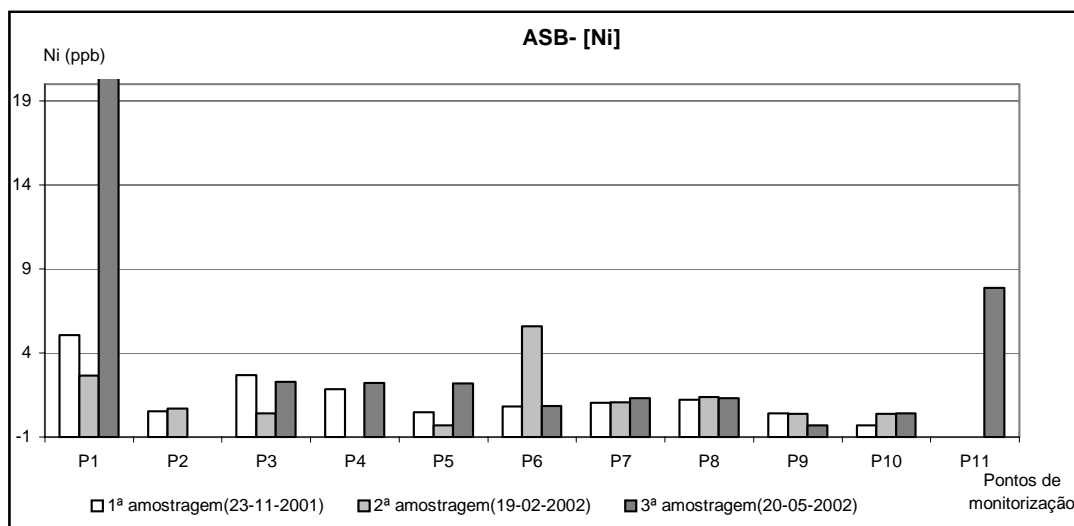


Gráfico 31 – Concentração de Ni nas três campanhas efectuadas no ASB.

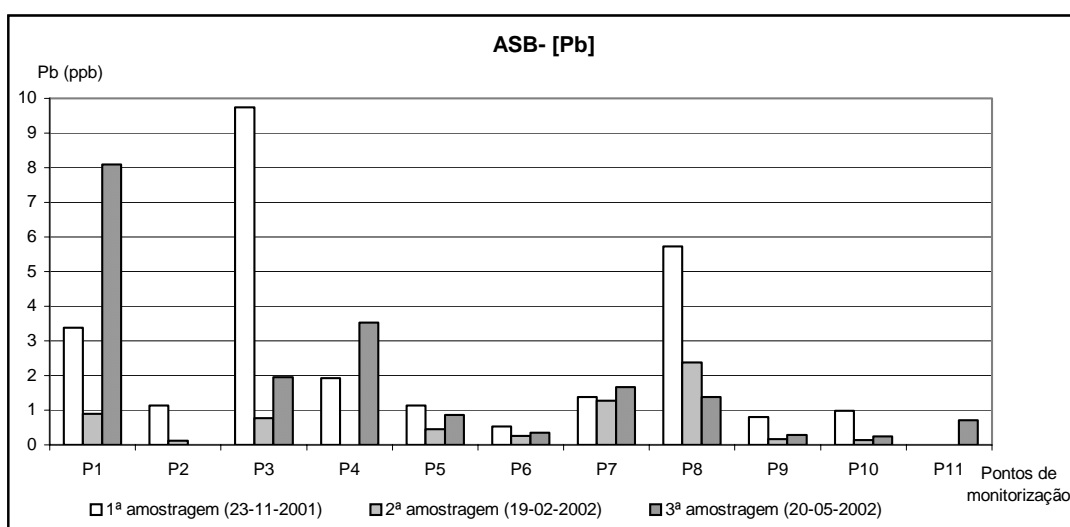


Gráfico 32 – Concentração de Pb nas três campanhas efectuadas no ASB.

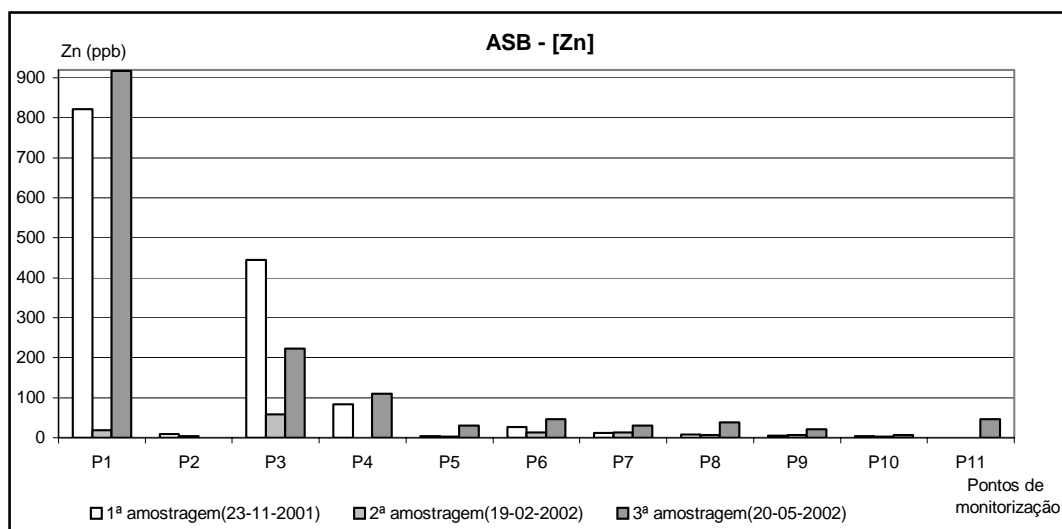


Gráfico 33 – Concentração de Zn nas três campanhas efectuadas no ASB.

Relativamente ao **arsénio**, gráfico 28, as concentrações são, de um modo global, baixas em todos os pontos de monitorização. São apenas registados valores mais elevados no ponto **P11**. Este ponto apresenta teores de arsénio bastante superiores ao VP (10 ppb), atingindo os 93 ppb.

Segundo Reimann e Caritat (1998), o **bário**, quando presente nas águas subterrâneas, encontra-se sensivelmente em concentrações de 16 ppb. Pela observação do gráfico 29 constata-se que os pontos **P4** e **P11** possuem águas com teores de bário superiores ao considerado, apesar da baixa mobilidade que este catião apresenta.

No que concerne ao **Cu**, gráfico 30, verifica-se que em todos os pontos, à excepção dos pontos P2, P9, P10 e P11, o VP de 2 ppb é ultrapassado em praticamente todas as campanhas, sendo os pontos **P3** e **P1** os que exibem os teores mais elevados. O P3 na 1ª e 3ª campanhas ultrapassa os 400 ppb, verificando-se o mesmo na última campanha no ponto P1.

Os pontos **P2** e **P10**, mais uma vez, poderão ter beneficiado da sua distância relativamente ao local de deposição dos resíduos, o que lhes poderá permitir apresentar baixos teores de cobre. Por sua vez, os pontos **P9** e **P11**, mais próximos da célula do ASB, como possuem águas menos ácidas (médias aproximadas de 6,7 e 6,2, respectivamente) oferecem maior resistência à mobilidade do cobre, o que pode justificar o facto das suas águas possuírem esse catião em pequenas quantidades.

As águas dos pontos **P3** e **P1**, possivelmente por apresentarem características contrárias às dos pontos anteriores, isto é, por possuírem águas mais ácidas, favorecem a mobilidade do cobre, daí as suas elevadas concentrações. O ponto **P4** também ultrapassou o VP estabelecido para este catião, no entanto, como é visível no gráfico 32, apresenta teores inferiores aos dos pontos P1 e P3. Esta situação pode ser atribuída aos valores de Eh ligeiramente inferiores das suas águas que conferem menor mobilidade ao cobre.

O **níquel** surge em grande parte das águas do ASB em concentrações acima de 0,74 ppb, valor considerado comum para as águas subterrâneas (Reimann e Caritat, 1998) (Gráfico 31). Apenas os pontos **P2**, **P9** e **P10** evidenciam teores abaixo desse valor, mais uma vez, devido, provavelmente, à localização dos mesmos e, no caso de P9 e P10, devido também às águas menos ácidas que apresentam, que dificultam a

mobilidade do níquel. Os restantes pontos, uma vez que possuem águas com pH mais ácido e, em alguns casos, Eh elevado (ex. P6), apresentam maiores concentrações de níquel, dada a sua maior mobilidade nestas condições. O VP de 20 ppb é ultrapassado apenas na última campanha do ponto P1, que exhibe aí valores de 143 ppb.

No que diz respeito ao **chumbo**, gráfico 32, verifica-se que alguns pontos apresentam teores ligeiramente superiores àqueles que normalmente, segundo Reimann e Caritat (1998), são comuns nas águas subterrâneas (0,3 ppb). No entanto, os pontos que exibem os valores mais elevados são o **P1**, **P3**, **P8** e **P4**. Apenas os pontos **P2**, **P6**, **P9** e **P10** é que apresentam concentrações de chumbo consideradas aceitáveis para águas subterrâneas.

O **zinco** surge nas amostras de água das três campanhas em teores superiores aos dos restantes elementos traço. A concentração de zinco mais elevada foi registada no ponto **P1**, seguindo-se, com teores bastante inferiores, os pontos **P3** e **P4**. O Zn, no ponto P1, encontra boas condições de mobilidade devido aos baixos valores de pH da sua água, o que facilita a dissolução desse catião. O ponto **P3** apresenta teores de Zn superiores a **P4**, possivelmente devido ao facto de possuir águas com Eh mais elevado que favorecem a mobilidade do catião.

4.2.3 – SÍNTESE

As águas dos pontos de monitorização do ASB revelaram uma certa influência das condições climáticas, sendo esta mais evidente nos pontos de água superficiais, como o P9 (Ribeira de Reamondes), e nos pontos de água subterrânea com níveis menos profundos, como P3, P5 e P8. Esta influência provocou uma maior oscilação nos parâmetros físico-químicos dessas águas.

Todos os pontos do ASB apresentaram águas com temperaturas médias compreendidas entre 12 °C e 14,5 °C e com pH ácido. De uma forma global, são águas com elevados teores de bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio e, em alguns pontos, com quantidades significativas de Al, Mn, Ba, Cu, Ni, Zn, Pb e As.

A presença destes iões na água não parece estar relacionada com a interacção água/rocha, uma vez que a correlação entre a sílica e os demais parâmetros físico-químicos não se revelou significativa. Parece-nos, assim, que os processos de decomposição que têm lugar na célula de deposição de resíduos têm alguma preponderância na composição química das águas do ASB. A reforçar esta hipótese temos o facto dos pontos localizados na proximidade da célula de deposição de resíduos revelarem condutividades eléctricas e pH elevados, Eh baixos e elevados teores de catiões e aniões, como é o caso dos pontos P11, P4 e P1. Por outro lado, os pontos mais distantes do ASB, P2 e P10, foram os que apresentaram as concentrações mais baixas relativamente aos iões analisados.

Destaca-se, deste modo, o ponto **P11**, pelo facto de ao longo do período de monitorização ter apresentado os valores de condutividade eléctrica e pH mais elevados e Eh mais baixos de todos os pontos do ASB. Foi também o ponto onde a maior parte dos iões analisados surgiu nas concentrações mais elevadas. Esta situação é eventualmente justificada pela possível infiltração de lixiviados de uma das lagoas directamente no piezómetro, o qual, no momento deste trabalho, se encontrava com a protecção danificada. Dada a próxima localização apresentada pelo ponto P11 relativamente a **P1**, e dada a evolução dos valores da condutividade deste ponto, aliado ainda ao facto do ponto P1 se encontrar inúmeras vezes entre os pontos com as concentrações mais elevadas, leva-nos a colocar a hipótese de existir uma ligação hidráulica preferencial entre estes dois pontos de água.

O ponto **P4**, para além das elevadas condutividades apresentadas foi, a seguir a P11, o ponto que revelou os teores mais elevados, quer de aniões, quer de catiões. Estes valores parecem ser o resultado da proximidade do ponto P4 à célula de deposição de resíduos do ASB. Este ponto parece evidenciar alguma ligação hidráulica com o ponto **P3** dada a aparente deterioração apresentada pelas suas águas.

Os resultados obtidos para o ponto **P9**, Ribeira de Reamondes, devem ser encarados com algumas restrições, uma vez que, embora este seja o principal curso de descarga do ASB, as águas deste ponto estão também sob influência da actividade agro-pecuária a montante, pelo que, em alguns momentos, foram detectadas grandes variações nos valores da condutividade eléctrica, pH e Eh.

4.3 – EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA NA LIXEIRA DE BRAGA

4.3.1 - DADOS DE CAMPO

A - *Temperatura*

Tal como efectuado no ASB, também na Lixeira de Braga foram medidos no campo os seguintes parâmetros: *temperatura*, *condutividade*, *pH* e *Eh*. Esta monitorização ocorreu de 07 de Dezembro de 2001 a 01 de Julho de 2002. Os registos obtidos para a temperatura em cada um dos pontos de monitorização encontram-se representados no gráfico 34. No quadro 19 apresenta-se uma breve descrição estatística desses mesmos valores.

Os elevados valores de temperatura verificados em alguns dos pontos levam-nos a colocar a hipótese destes não corresponderem à temperatura real das águas, podendo estar a ser influenciados pelas temperaturas ambientais, motivo pelo qual esses valores devem ser encarados com algumas restrições.

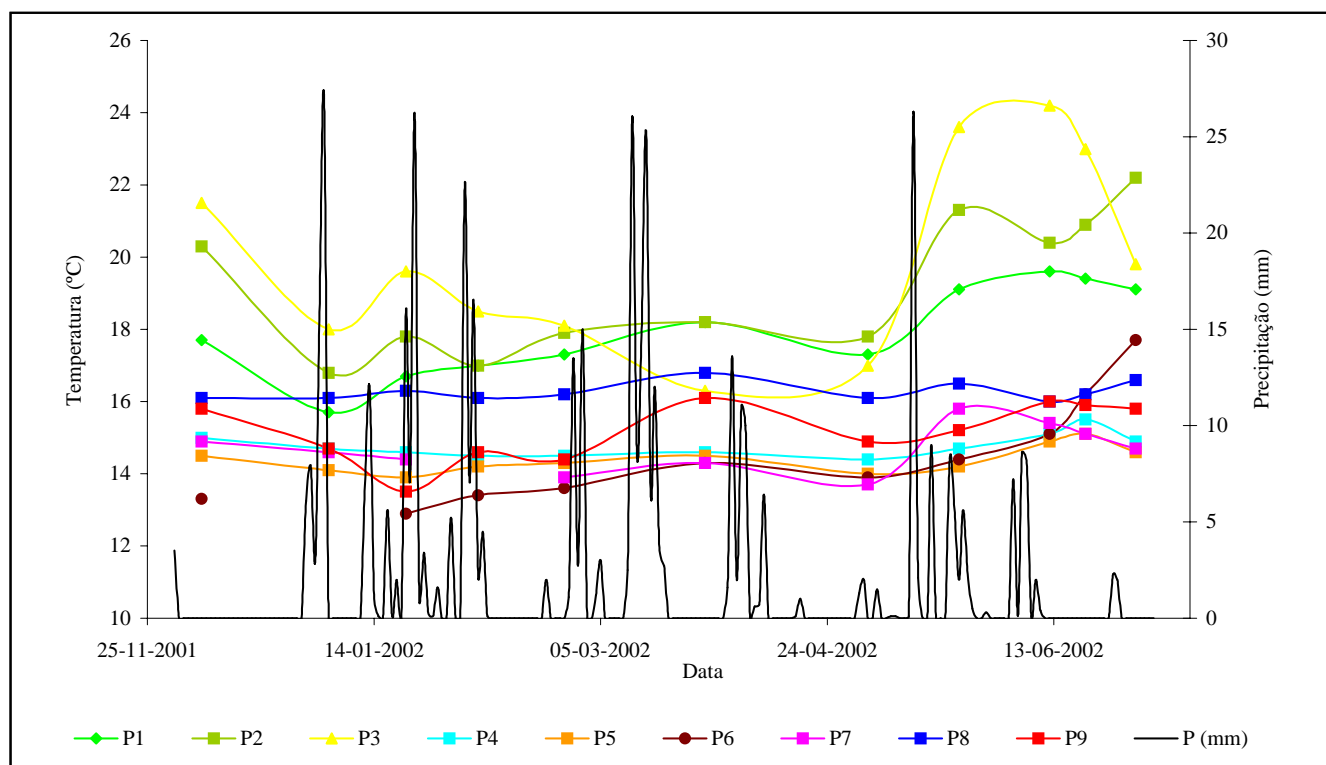


Gráfico 34 – Variação da temperatura (°C) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga.

Quadro 19 – Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga.

| LIXEIRA DE BRAGA | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C) - Monitorização | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| Mínimo | 15,7 | 16,8 | 16,3 | 14,4 | 13,9 | 12,9 | 13,7 | 16,0 | 13,5 |
| Máximo | 19,6 | 22,2 | 24,2 | 15,5 | 15,1 | 17,7 | 15,8 | 16,8 | 16,1 |
| Média | 17,9 | 19,1 | 20,0 | 14,8 | 14,4 | 14,5 | 14,7 | 16,3 | 15,2 |
| D. Padrão | 1,3 | 1,9 | 2,7 | 0,3 | 0,4 | 1,5 | 0,6 | 0,3 | 0,8 |
| Coef. Variação | 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,05 |

Da análise dos dados constata-se que os pontos **P3**, **P2** e **P1** são os que apresentam **temperaturas mais elevadas** ao longo do período de monitorização, situando-se estas no ponto P3 entre os 16,3 °C e 24,2 °C, entre 16,8 °C e 22,2 °C no ponto P2 e entre 15,7 °C e 19,6 °C no ponto P1. Para além de serem os pontos que evidenciam os valores mais elevados são também aqueles onde se registam as **maiores variações**. Tal pode ser explicado pelo facto destes pontos (piezómetros localizados no interior da Lixeira de Braga) apresentarem pouca profundidade (P1, 23 metros; P2 e P3, 10 metros), o que os torna mais susceptíveis à elevada exposição solar a que estão sujeitos, à possível infiltração das águas que circulam na lixeira e mesmo aos processos de decomposição que aí ocorrem e que podem influenciar de modo significativo a temperatura das suas águas.

A estes pontos seguem-se, também com temperaturas algo elevadas, os pontos **P8** e **P9**, por ordem decrescente de valores. O ponto P9 evidencia algumas oscilações de temperatura, ao contrário de P8 que revela valores mais constantes (entre 16,0 °C e 16,8 °C).

Os pontos **P4**, **P5**, **P6** e **P7** são os que possuem águas com **temperaturas mais baixas** e **mais constantes**, apresentando valores muito próximos entre si, o que facilmente se constata pelas médias que apresentam (14,8 °C, 14,4 °C, 14,5 °C e 14,7 °C, respectivamente).

É de referir ainda o facto de em certos pontos de monitorização - **P1**, **P2**, **P3**, **P6** e **P7** – ser visível uma subida da temperatura das águas a partir da medição do dia 3 de

Maio. Este aumento pode ser devido à subida da temperatura ambiente característica da época do ano.

Após análise das possíveis correlações entre as temperaturas registadas nos diferentes pontos verifica-se que existe uma boa correlação entre as temperaturas dos pontos **P3** e **P7** (Gráfico 35) e **P4** e **P5** (Gráfico 36).

A primeira situação (Gráfico 35) sugere-nos que poderá haver alguma influência da lixeira sobre o ponto P7, daí as temperaturas deste ponto apresentarem alguma consonância com as temperaturas do ponto P3. Por sua vez, a segunda correlação (Gráfico 36) indicia que as águas dos pontos P4 e P5, dada a sua proximidade, poderão ter uma origem comum, ou seja, poderão estar, eventualmente, a efectuar uma descarga de uma zona comum ou de zonas extremamente próximas.

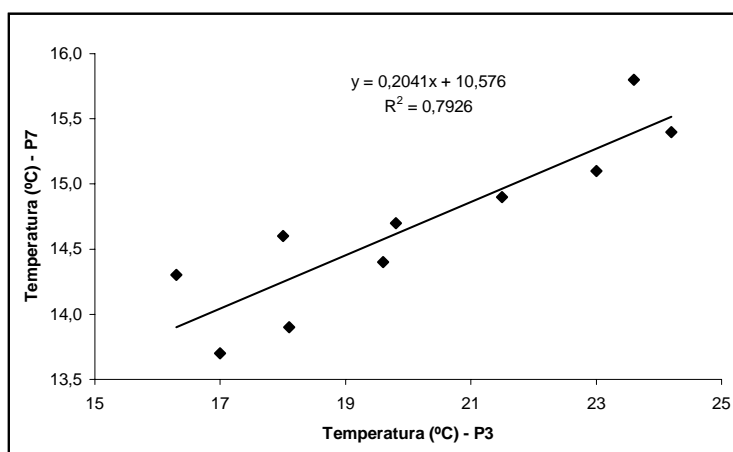


Gráfico 35 – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura do ponto P7 em função dos valores de temperatura do ponto P3 na Lixeira de Braga.

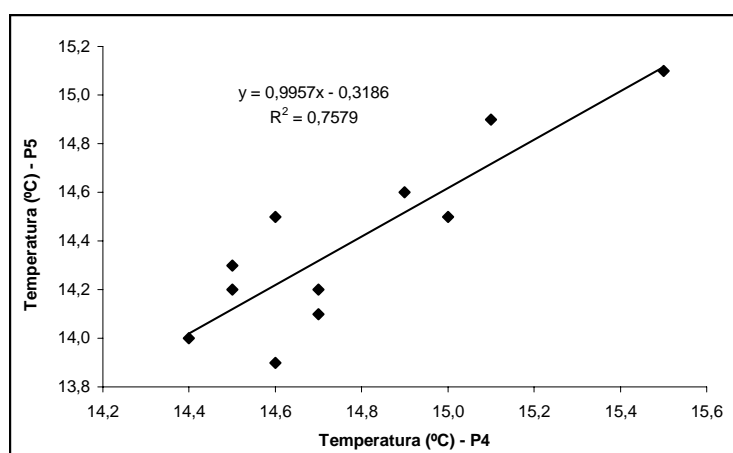


Gráfico 36 – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura do ponto P5 em função dos valores de temperatura do ponto P4 na Lixeira de Braga.

B - Condutividade

As condutividades registadas nesta área de estudo, apresentadas no gráfico 37 e no quadro 20, destacam-se pelo seus elevados valores.

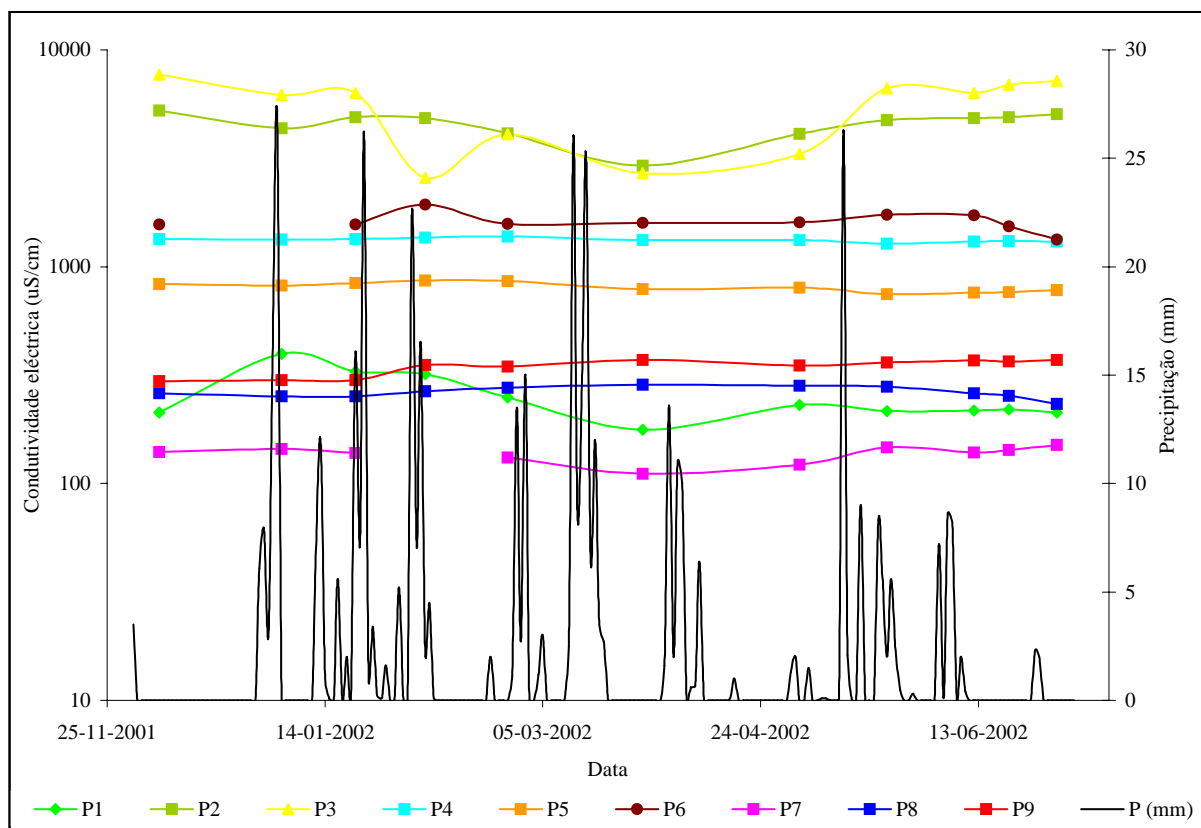


Gráfico 37 – Variação da condutividade eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga.

Quadro 20 – Estatística descritiva dos valores da condutividade recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga.

| LIXEIRA DE BRAGA | | | | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) - Monitorização | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| Mínimo | 177 | 2920 | 2570 | 1280 | 745 | 1337 | 111 | 233 | 296 |
| Máximo | 397 | 5262 | 7670 | 1375 | 863 | 1932 | 151 | 286 | 372 |
| Média | 252,8 | 4550,2 | 5446,4 | 1328,0 | 804,5 | 1616,7 | 136,7 | 264,1 | 344,2 |
| D. Padrão | 66,4 | 653,4 | 1897,7 | 27,2 | 41,5 | 155,8 | 12,1 | 16,0 | 30,5 |
| Coef. Variação | 0,26 | 0,14 | 0,35 | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,09 |

O valor mais baixo registado foi de 111 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e, o mais elevado, de 7670 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Assim, e por ordem decrescente de valores, os pontos **P3**, **P2**, **P6** e **P4** são os que apresentam registos mais **elevados**, seguindo-se o ponto **P5**, já com condutividades significativamente mais baixas. Com valores bastante mais **baixos** temos os pontos **P9**, **P8**, **P1** e, por fim, o ponto **P7**.

As águas dos piezómetros implantados na Lixeira de Braga (pontos **P1**, **P2** e **P3**) foram as que evidenciaram **maiores oscilações** de condutividade ao longo do período de monitorização, o que pode ser constatado no quadro 20 pelos elevados valores dos seus coeficientes de variação (0,26, 0,14 e 0,35, respectivamente). Pelo contrário, os restantes pontos localizados na população de Paço, embora apresentem valores de condutividade muito diferentes entre eles, destacam-se pela constância dos mesmos ao longo do período considerado.

Desta primeira análise, pode supor-se que os pontos **P2** e **P3** são os que sofrem mais directamente influência da lixeira, assim como **P1**, embora este de forma mais ténue. A grande influência provocada em P2 e P3 pode dever-se ao facto destes dois pontos estarem localizados no fundo da vertente mais inclinada da lixeira, ao longo da qual se processa o fluxo das águas (sentido E-W a ENE – WSW). De acordo com Datageo (2000), esta zona corresponde à área onde o maciço apresenta maior alteração e intercalação de quartzo, o que poderá facilitar a percolação de possíveis lixiviados, e daí os elevados valores de condutividade verificados. O ponto P1, por sua vez, possui condutividades ligeiramente inferiores, eventualmente por se localizar a montante, no sentido oposto ao do fluxo das águas e numa área em que o maciço se encontra menos alterado, logo menos susceptível à acção de lixiviados.

Uma vez que os pontos **P4** e **P5** apresentam uma localização bastante próxima, e dado que já haviam manifestado uma relação satisfatória entre os seus valores de temperatura, julga-se adequado averiguar a existência de uma possível ligação entre as suas condutividades. A correlação obtida encontra-se representada no gráfico 38.

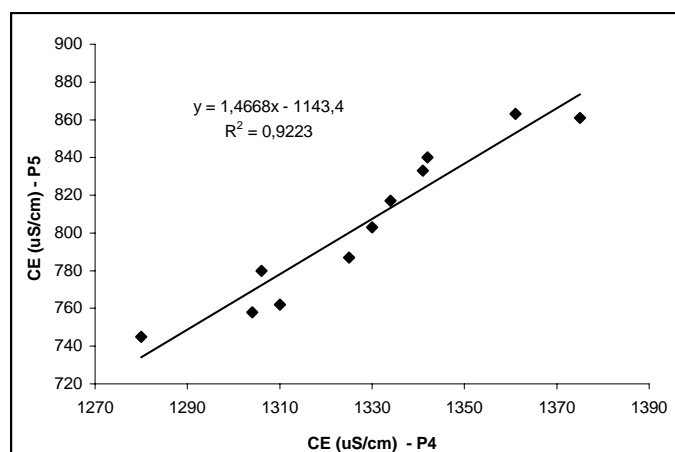


Gráfico 38 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P5 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P4 na Lixeira de Braga.

Da análise do gráfico 38, verifica-se que estes dois pontos apresentam uma excelente correlação entre os seus valores de condutividade. Esta boa relação, juntamente com a correlação anteriormente verificada entre as suas temperaturas, leva a supor, com menos reservas, que as águas dos pontos P4 e P5 poderão ter uma origem comum. No entanto, o ponto P4, dado os valores de condutividade ligeiramente mais elevados que apresenta, sofrerá provavelmente uma maior influência dos processos que ocorrem na lixeira.

Na apreciação de outras possíveis ligações, apura-se que, tal como se verificou com as suas temperaturas, os valores de condutividade do ponto **P7** apresentam uma relação significativa com as condutividades do ponto **P3** (Gráfico 39) e ainda com o ponto **P2** (Gráfico 40). Estes dados apoiam a hipótese de uma possível influencia da lixeira sobre o ponto P7.

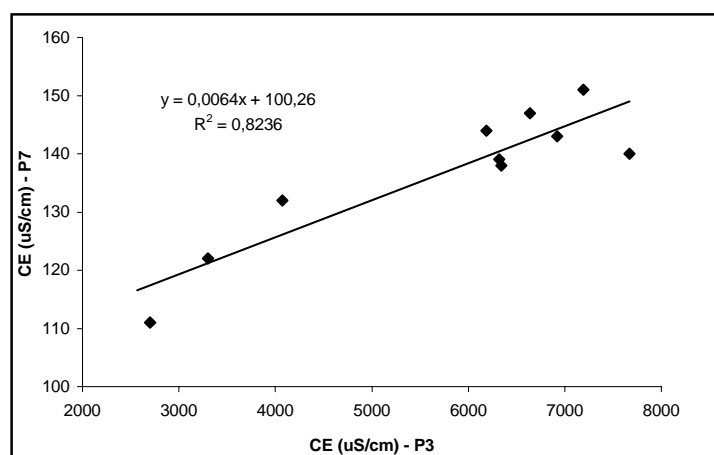


Gráfico 39 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P3 na Lixeira de Braga.

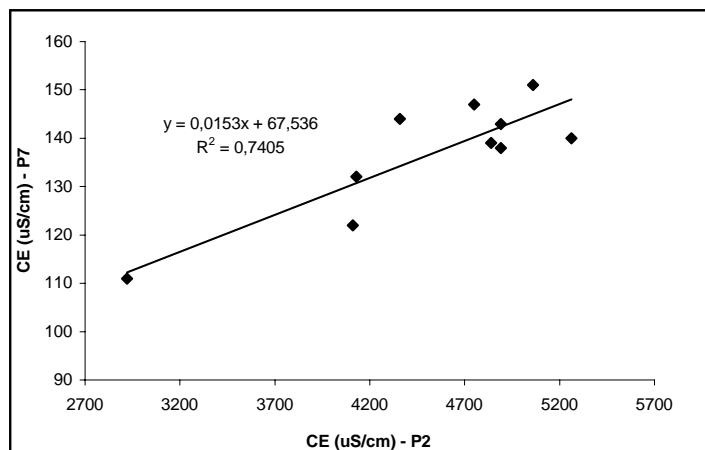


Gráfico 40 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P2 na Lixeira de Braga.

No que diz respeito ao ponto **P8**, constata-se que este também apresenta uma certa correlação com os pontos **P2** e **P3**, embora de forma mais discreta, como se verifica nos gráficos 41 e 42.

A correlação existente entre o ponto P8 e os pontos P2 e P3 é uma correlação negativa, pelo que, quando nos últimos pontos ocorre uma diminuição da condutividade das suas águas devido ao efeito de diluição provocado pela infiltração da precipitação, no ponto P8 essa mesma infiltração leva ao arrastamento de partículas do solo e consequentemente ao aumento dos seus valores de condutividade.

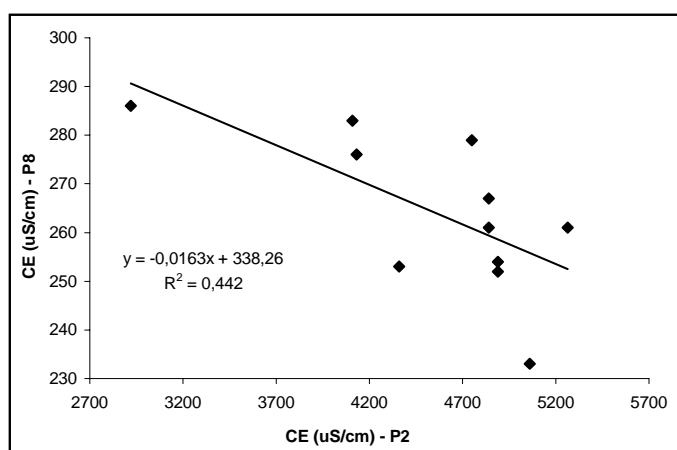


Gráfico 41 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P2 na Lixeira de Braga.

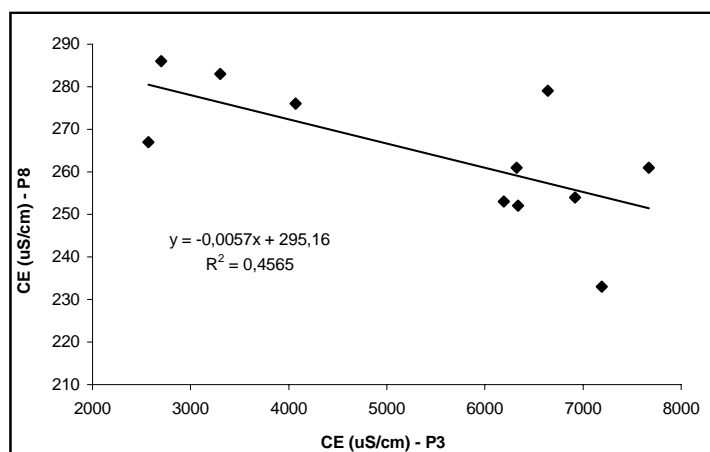


Gráfico 42 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P3 na Lixeira de Braga.

O ponto **P8** evidencia também com o ponto **P7** uma correlação semelhante (Gráfico 43), o que está de acordo com a hipótese anteriormente colocada do ponto P7 estar intimamente relacionado com os pontos P2 e P3.

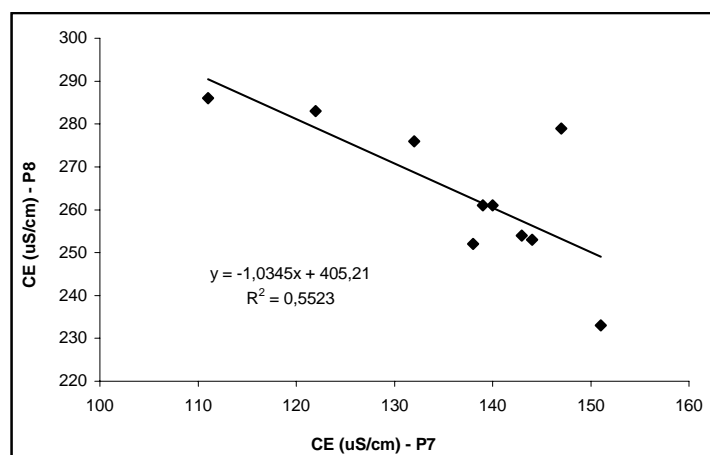


Gráfico 43 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica do ponto P8 em função dos valores de condutividade eléctrica do ponto P7 na Lixeira de Braga.

C - pH

No gráfico 44 apresenta-se os valores do pH registados nos diferentes pontos de monitorização da Lixeira de Braga. Da sua observação, verifica-se que os pontos **P3** e **P2** são os que possuem valores de pH **mais elevados**, variando entre 6,42 e 7,21. Segue-se o ponto **P7**, com pH entre 6,36 e 6,73 e ainda os pontos **P1** e **P5**, com valores compreendidos entre 5,03 e 6,02. Os pontos **P4**, **P9**, **P8** e **P6** apresentam **valores inferiores**, situando-se entre 4,30 e 5,20.

Ao longo do período de monitorização, os valores registados não evidenciaram, de um modo geral, oscilações significativas, o que é traduzido pelos baixos valores dos coeficientes de variação (Quadro 21). As pequenas **variações** verificadas dizem respeito aos pontos **P1**, **P2**, **P3**, **P7** e **P9**.

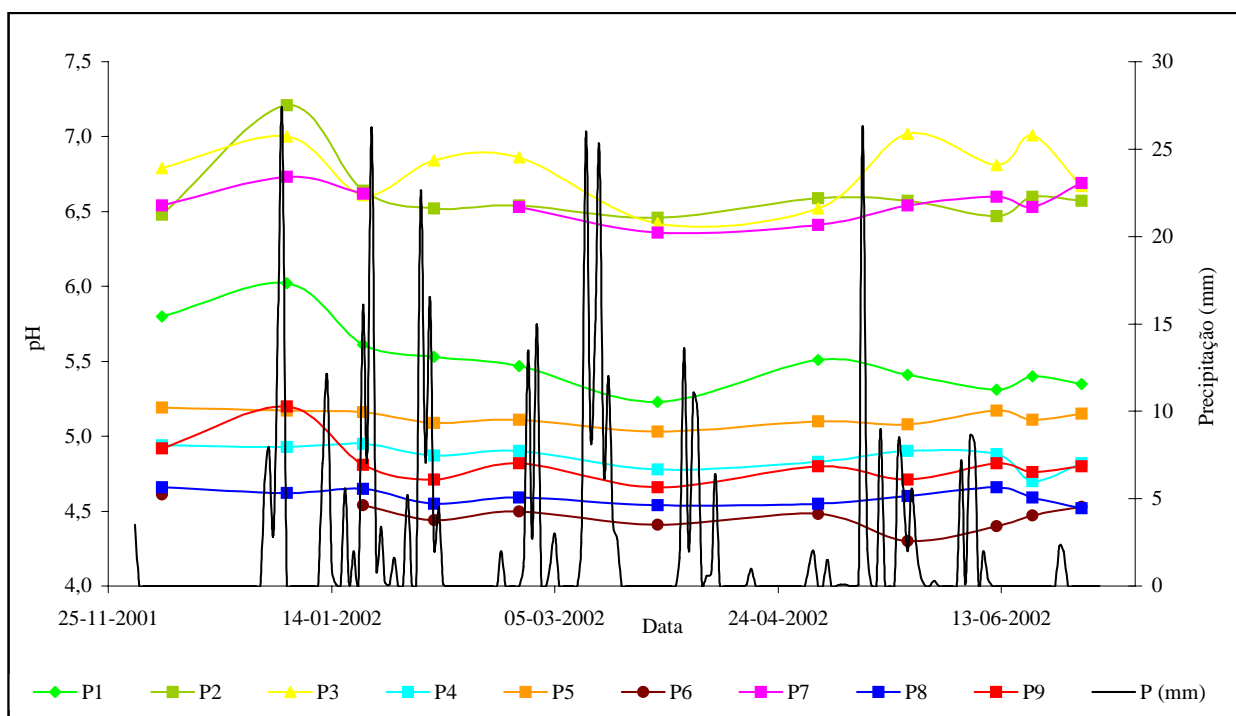


Gráfico 44 – Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga.

Quadro 21 – Estatística descritiva dos valores de pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga.

| LIXEIRA DE BRAGA | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH - Monitorização | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| Mínimo | 5,23 | 6,46 | 6,42 | 4,70 | 5,03 | 4,30 | 6,36 | 4,52 | 4,66 |
| Máximo | 6,02 | 7,21 | 7,02 | 4,95 | 5,19 | 4,61 | 6,73 | 4,66 | 5,20 |
| Média | 5,51 | 6,60 | 6,78 | 4,86 | 5,12 | 4,47 | 6,56 | 4,59 | 4,82 |
| D. Padrão | 0,23 | 0,21 | 0,20 | 0,08 | 0,05 | 0,09 | 0,11 | 0,05 | 0,14 |
| Coef. Variação | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |

Podemos assim afirmar, após a análise do gráfico 44 e do quadro 21, que todos os pontos da Lixeira de Braga apresentam **águas ácidas**. Os pontos com águas mais ácidas apresentam médias entre os 4,47 e 5,51 e os restantes pontos, com águas menos ácidas, possuem médias compreendidas entre 6,56 e 6,78.

D – Eh

De um modo geral, os valores de Eh registados nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga situam-se na ordem dos 200 mV a 300 mV, à excepção dos piezómetros localizados no seu interior (pontos P1, P2 e P3) que apresentam valores inferiores, por vezes negativos. Estes valores encontram-se representados no gráfico 45 e no quadro 22 sob a forma de uma breve descrição estatística.

Assim, os valores **mais elevados** dizem respeito aos pontos **P8, P9, P6 e P5**, por ordem decrescente, situando-se estes entre 257 mV e 386 mV. Os elevados valores verificados nos dois primeiros pontos podem ser devido à água dos poços em questão ser bastante utilizada pelos proprietários, o que lhe permite uma renovação e oxigenação constante, dado que está em frequente contacto com a atmosfera. Relativamente aos pontos **P6 e P5**, para além de também estarem em contacto permanente com a atmosfera, no momento das colheitas era bem visível a presença de musgos nessas águas, os quais, através da fotossíntese, poderiam ter contribuído com oxigénio para a água.

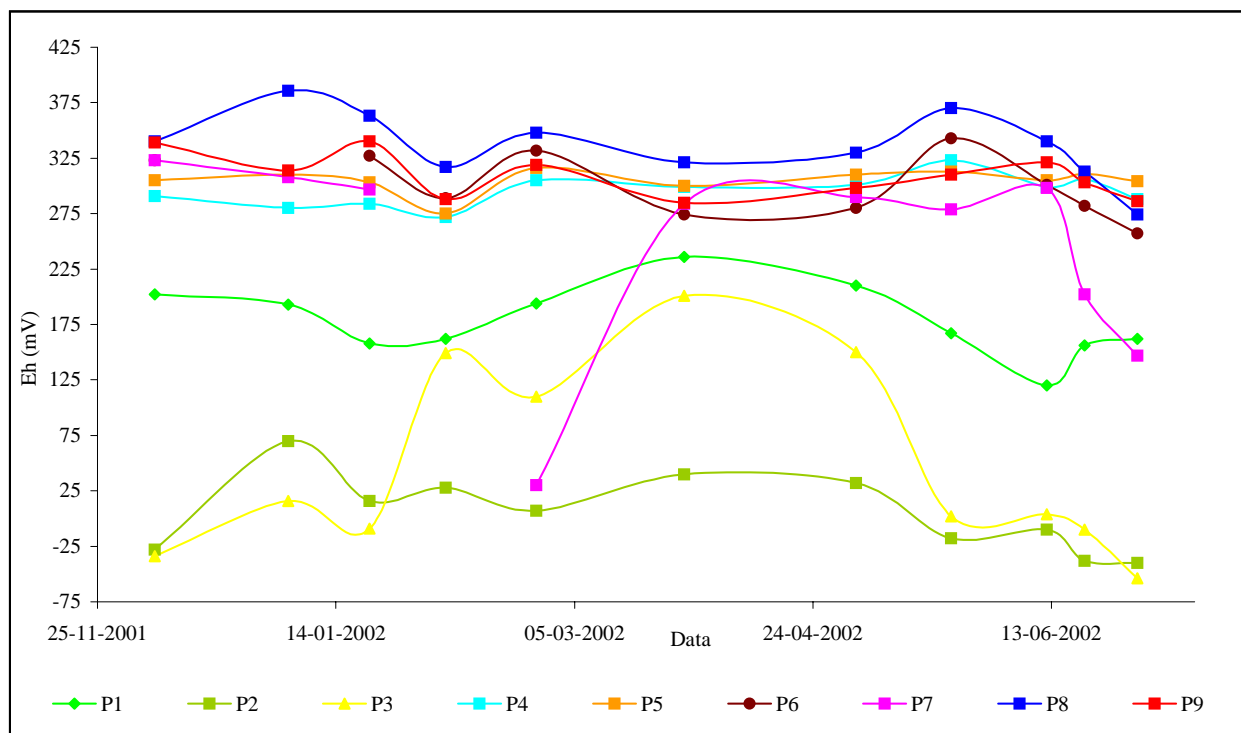


Gráfico 45 – Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização da Lixeira de Braga.

Quadro 22 – Estatística descritiva dos valores de Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira de Braga.

| LIXEIRA DE BRAGA | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eh (mV) - Monitorização | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| Mínimo | 120 | -40 | -54 | 272 | 275 | 257 | 30 | 274 | 285 |
| Máximo | 236 | 70 | 201 | 323 | 316 | 343 | 323 | 386 | 340 |
| Média | 178,2 | 5,4 | 47,7 | 295,3 | 304,7 | 300,8 | 245,8 | 336,5 | 309,4 |
| D. Padrão | 32,1 | 35,4 | 87,6 | 14,2 | 11,0 | 28,9 | 93,1 | 30,9 | 19,6 |
| Coef. Var. | 0,18 | 6,60 | 1,83 | 0,05 | 0,04 | 0,10 | 0,38 | 0,09 | 0,06 |

Os pontos **P1**, **P2** e **P3**, tal como já foi referido, são os que revelam os valores de **Eh mais baixos**, chegando mesmo P2 e P3 a atingir níveis negativos. Estes baixos valores podem ser justificados pelo facto destes três piezómetros estarem localizados num meio redutor criado pela actividade microbiana aí existente. Esta actividade microbiana, eventualmente, leva a um aumento da temperatura das águas, daí existir correlação entre esse parâmetro e o Eh dos pontos P2 e P3 (Gráficos 46 e 47).

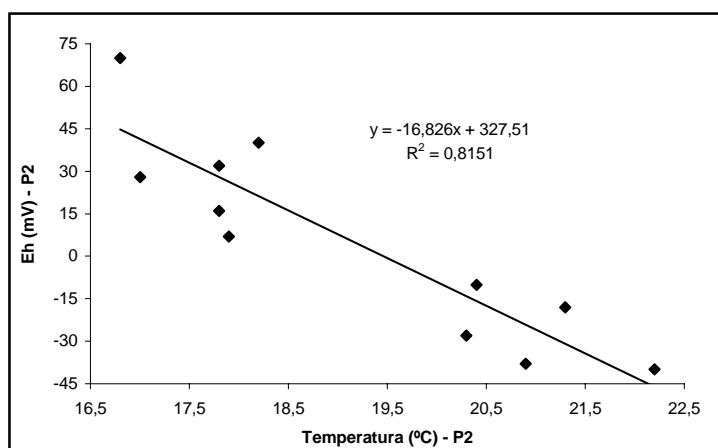


Gráfico 46 – Diagrama de dispersão dos valores de Eh em função dos valores da temperatura do ponto P2 na Lixeira de Braga.

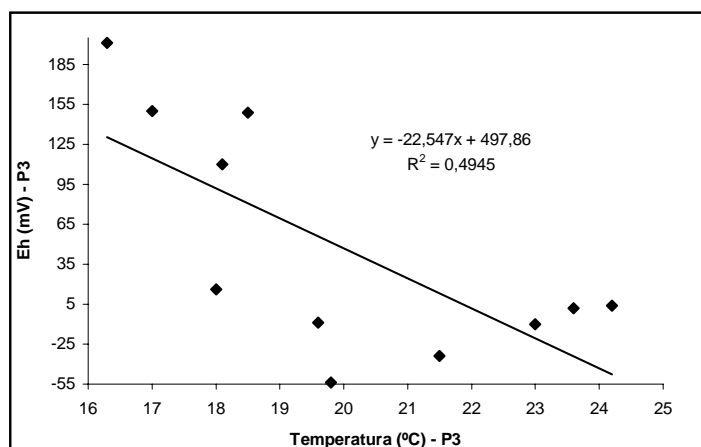


Gráfico 47 – Diagrama de dispersão dos valores de Eh em função dos valores da temperatura do ponto P3 na Lixeira de Braga.

De um modo geral, todos os pontos de monitorização evidenciam **oscilações** nos valores de Eh das suas águas, o que é bem patente nos elevados coeficientes de variação por eles apresentados (Quadro 22). No entanto, em termos comparativos, os pontos **P1**, **P2**, **P3** e **P7** são aqueles onde essas oscilações são mais significativas. Observando o gráfico 45, constata-se que os valores de Eh do ponto P7, apesar das elevadas variações, manifestam uma certa tendência para diminuir, o que poderá estar relacionado com a hipotética influência dos pontos P2 e P3 sobre este ponto.

4.3.2 - DADOS DE LABORATÓRIO

A - Aniões

As concentrações dos aniões Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e NO_3^- , obtidas na análise das amostras de água dos diferentes pontos de monitorização, encontram-se representadas nos gráficos 48, 49, 50 e 51. Note-se que, para alguns dos pontos de monitorização, nomeadamente P6 e P8 nas 1ª e 2ª campanhas e P9 na última campanha, não se encontram registadas as concentrações do ião bicarbonato. Tal, deve-se ao facto das águas destes pontos, no momento da colheita, apresentarem pH inferior a 4,5, pelo que não foi determinado em laboratório a alcalinidade das mesmas.

Numa primeira análise dos resultados obtidos, verifica-se que o anião HCO_3^- surge como o **anião dominante**. Esta primeira análise deve, contudo, ser encarada com algumas restrições. Efectuando uma análise mais pormenorizada, constata-se que este anião é apenas dominante no que se refere aos pontos **P1**, **P2** e **P3** (piezómetros localizados no interior da lixeira) e que, relativamente aos restantes pontos, de **P4 a P9**, localizados a maior distância da lixeira, na povoação de Paço, o **anião dominante** é o Cl^- .

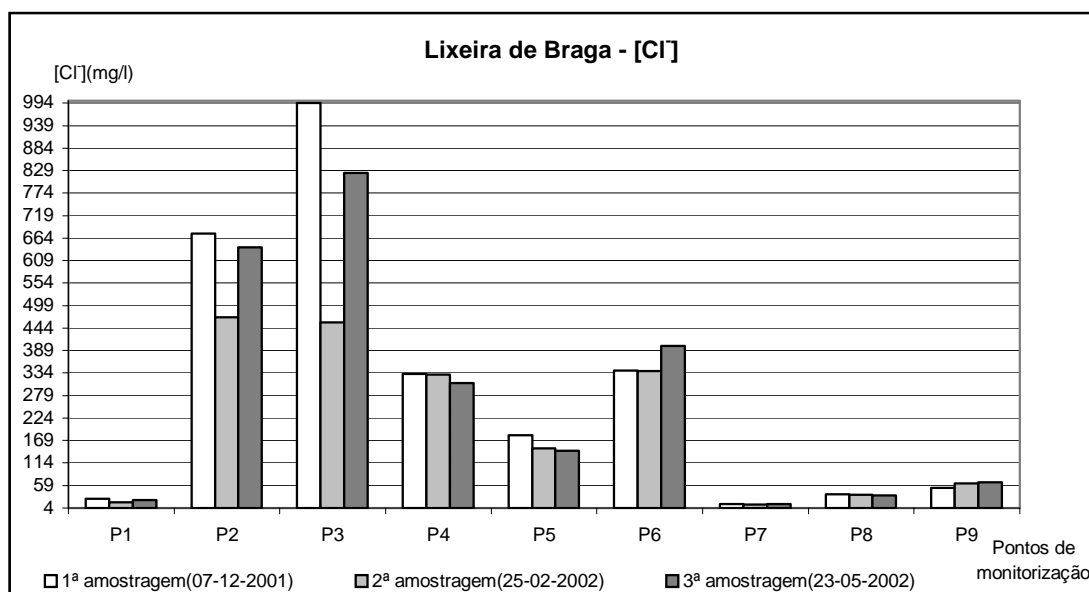
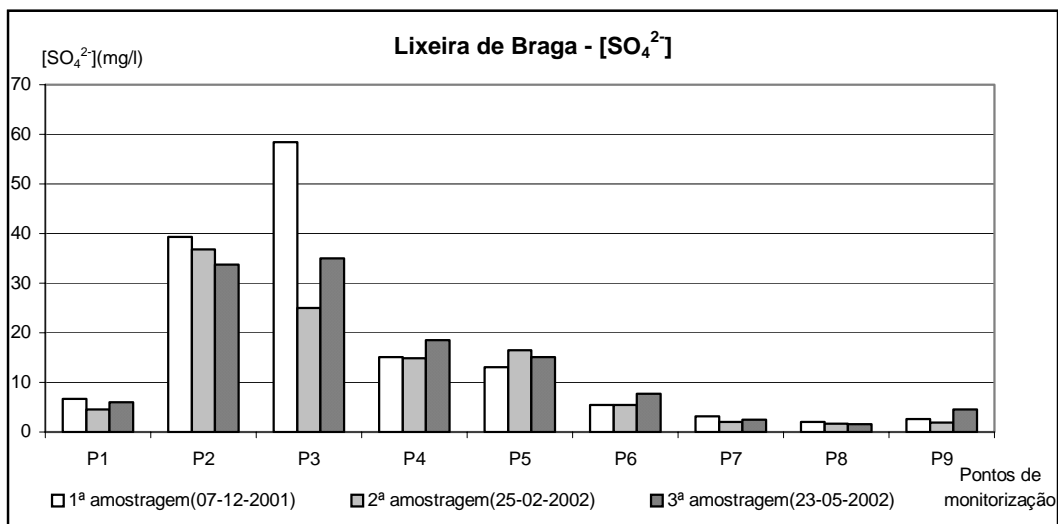
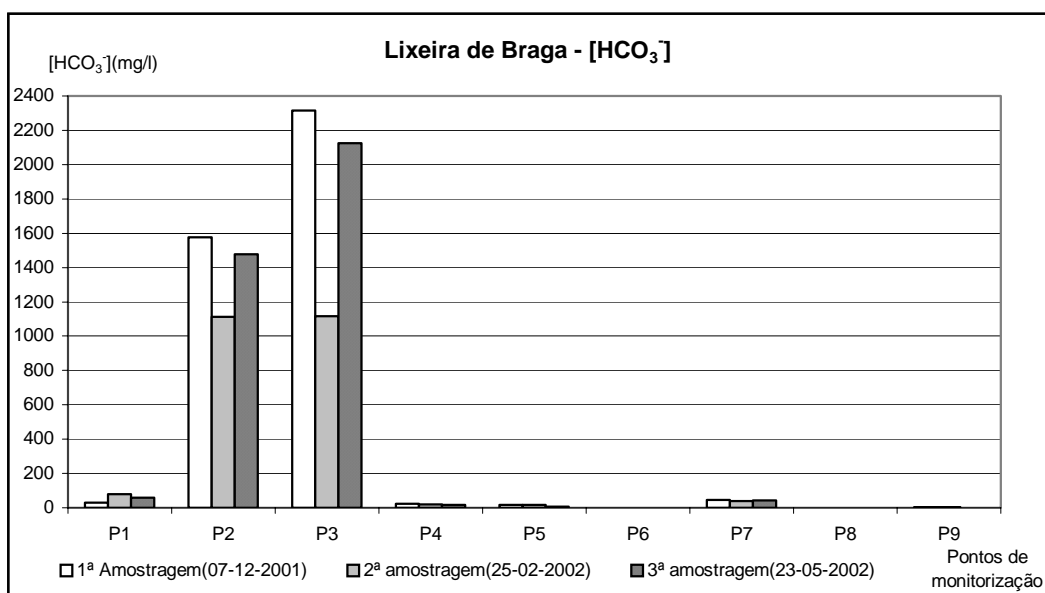
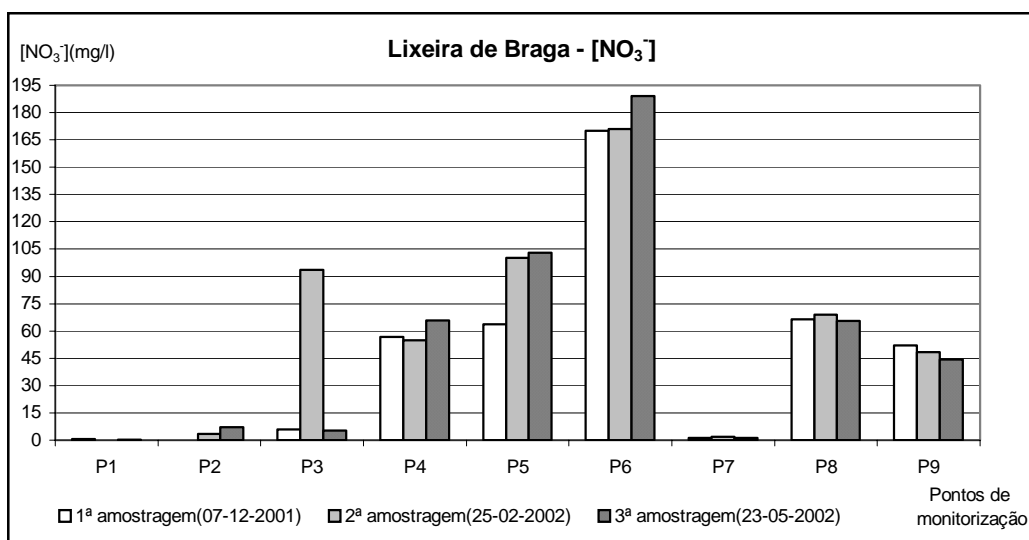


Gráfico 48 – Concentração de Cl^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

Gráfico 49 – Concentração de SO_4^{2-} nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.Gráfico 50 – Concentração de HCO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.Gráfico 51 – Concentração de NO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

Assim, relativamente aos piezómetros de monitorização da lixeira, pontos **P1**, **P2** e **P3**, o **ânion dominante**, como referimos, é o HCO_3^- . Este ânion apresenta concentrações muito elevadas nos pontos P3 e P2, com médias respectivas de 1851 mg/l e 1388 mg/l. O ponto P1, por sua vez, apresenta concentrações muito mais baixas (média de 56 mg/l). Estes elevados valores de bicarbonato nas águas dos pontos P1, P2 e P3 resultam, provavelmente, da decomposição da matéria orgânica que se encontra depositada na lixeira.

A seguir ao bicarbonato, surge o ião cloreto, seguido pelo sulfato e pelo nitrato, por ordem decrescente de concentrações.

No que diz respeito aos pontos localizados na povoação de Paço (**P4**, **P5**, **P6**, **P7**, **P8** e **P9**) o **ânion dominante** é o Cl^- , seguindo-se o NO_3^- e só depois o HCO_3^- . O SO_4^{2-} é o ânion que se encontra em menores concentrações.

Observando o gráfico 48, relativo ao **cloreto**, constata-se que 44% das amostras possuem concentrações de Cl^- superiores ao VP recomendado (250 mg/l) no decreto-lei n.º 243/01 de 5 de Setembro, exibindo mais de metade das amostras, 55%, teores inferiores a esse valor. Assim, do número total de amostras, 11% apresenta concentrações de cloreto inferiores a 17,5 mg/l, contribuindo para esta percentagem a colheita do ponto P7. Cerca de 15% das amostras apresenta concentrações de Cl^- compreendidas entre 17,5 mg/l e 35 mg/l e 70% superior a 35 mg/l. Em alguns casos, mais especificamente as amostras de águas dos pontos P2 e P3, as concentrações deste ânion chegam a atingir um valor máximo de 675 mg/l e 995 mg/l, respectivamente. Deste modo, os pontos com teores de Cl^- mais **elevados** são os pontos **P3** e **P2**, com médias de 759 mg/l e 596 mg/l, respectivamente. Por outro lado, o ponto **P7** é o que apresenta concentrações mais **baixas** (média de 13 mg/l), seguindo-se os pontos **P1**, **P8** e **P9** (com médias respectivas de 23 mg/l, 36 mg/l e 61 mg/l).

No que diz respeito ao ânion SO_4^{2-} , gráfico 49, nenhuma das amostras ultrapassa o VP (250 mg/l). Assim, 77% das amostras tem concentrações de sulfato inferiores a 24 mg/l e 18% possui quantidades compreendidas entre 24 e 48 mg/l.

Existe ainda uma amostra (3,7%) que ultrapassa os 48 mg/l. Esta amostra corresponde à primeira colheita dos pontos P3. Os pontos que exibem as concentrações

de sulfato mais **elevadas** são, assim, os pontos **P3** e **P2**, com médias respectivas de 40 mg/l e 37mg/l.

O ponto **P8** é o que apresenta as concentrações mais **baixas** de sulfato, com uma média de 2 mg/l, seguido dos pontos **P7** e **P9**, com médias respectivas de 2,6 mg/l e 3,0 mg/l.

O gráfico 50, relativo à concentração de **bicarbonato**, mostra que cerca de 33% das amostras tem teores inferiores a 30,5 mg/l; 26%, possui concentrações bastante superiores a 61 mg/l, apresentando a maioria (41%) quantidades compreendidas entre 30,5 mg/l e 61 mg/l.

O ponto **P9** é o que apresenta concentrações mais **baixas** (média de 4 mg/l), seguindo-se, com valores relativamente mais elevados, os pontos P5 e P4 (com médias de 13 mg/l e 19 mg/l, respectivamente). Por sua vez, os pontos **P3** e **P2** são os que possuem as concentrações de HCO_3^- mais **elevadas**, com médias de 1851 mg/l e 1388 mg/l, respectivamente.

Os valores de **nitrato** nas amostras de água da Lixeira de Braga (Gráfico 51) surgem, salvo algumas exceções, em concentrações superiores ao VP (50 mg/l). Assim, da totalidade das amostras, 52% sobrepõem o VP e 48% evidenciam teores de nitrato dentro das normas estabelecidas por lei, isto é, inferiores a 50 mg/l. Desta percentagem, a grande maioria apresenta concentrações inferiores a 7,75 mg/l, constituindo aqui exceção a segunda e a terceira amostras do ponto P9, onde se registaram teores de nitrato de 48,4 mg/l e 44,2 mg/l, respectivamente.

Ao contrário dos pontos P3 e P2, que apresentam sempre as concentrações mais elevadas, no caso do ião NO_3^- , o ponto **P6** é o que possui teores mais **elevados** (média de 177 mg/l) seguido do ponto **P5** (média de 89 mg/l). Por sua vez, os pontos **P1**, **P7** e **P2** são os que surgem com quantidades de nitrato mais **baixas**, com médias de 0,32 mg/l, 1,44 mg/l e 5,33 mg/l, respectivamente. A estes três pontos segue-se o ponto **P3**, embora com uma média ligeiramente superior (35 mg/l), dados os elevados valores que se verificaram na 2ª campanha.

Após averiguar eventuais correlações, verifica-se existir uma boa relação entre o anião HCO_3^- e os aniões Cl^- e SO_4^{2-} (Gráficos 52 e 53, respectivamente), exibindo também estes dois uma boa relação entre si (Gráfico 54).

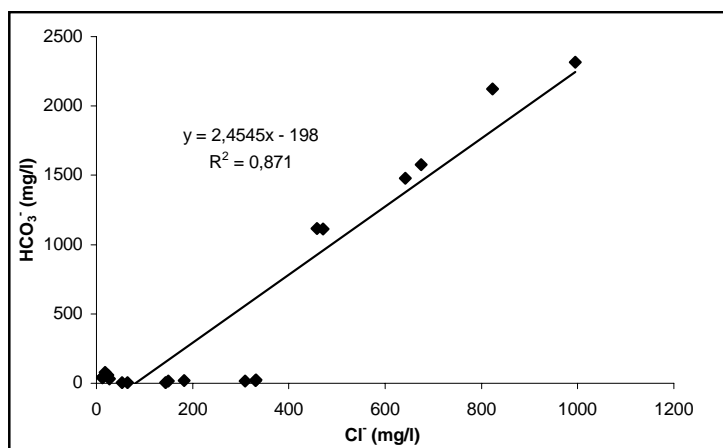


Gráfico 52 – Diagrama de dispersão da concentração de HCO_3^- em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga.

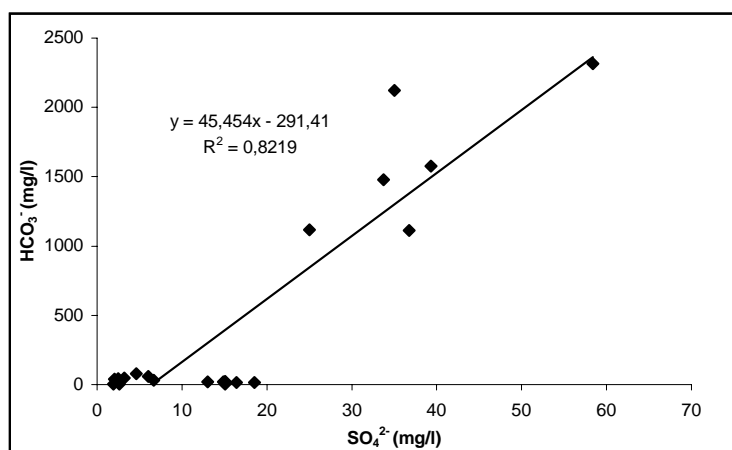


Gráfico 53 – Diagrama de dispersão da concentração de HCO_3^- em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga.

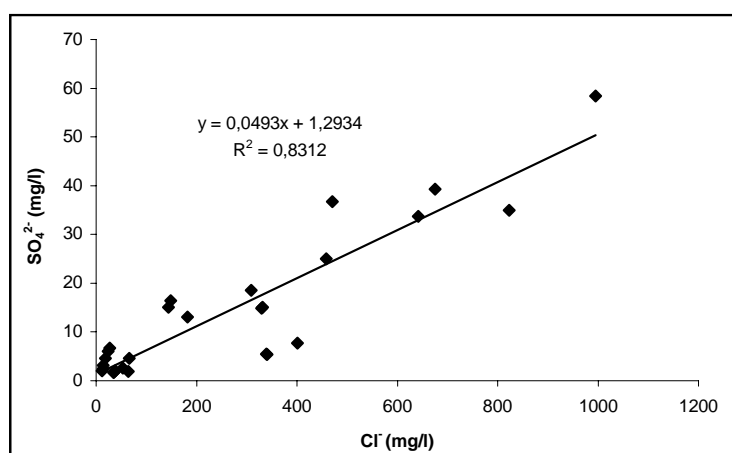


Gráfico 54 – Diagrama de dispersão da concentração de SO_4^{2-} em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga.

Da observação dos gráficos 52 e 53, verifica-se a existência de dois grupos distintas de amostras. Um primeiro grupo, de seis amostras, com elevadas concentrações de bicarbonato, cloreto e sulfato, referente às águas dos pontos P2 e P3, e um segundo grupo, relativo às águas dos restantes pontos, com concentrações inferiores. As correlações analisadas revelam-se mais fortes nos pontos P2 e P3, sem os quais as relações enumeradas se tornam mais bastante mais fracas. Estes dados sugerem, assim, que as concentrações de HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} poderão ter apenas alguma relação nestes dois pontos. Esta ligação leva a admitir que o bicarbonato, o cloreto e o sulfato presentes nas águas dos pontos P2 e P3 tenham uma origem comum, eventualmente resultantes da decomposição dos resíduos acumulados na lixeira.

Estes três aniões, HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} , revelaram também boa correlação com a condutividade eléctrica da água. No entanto, a relação entre a condutividade e o HCO_3^- voltou a acusar-se mais forte nos pontos P2 e P3, pelo que, no gráfico 56 se distingue novamente dois grupos.

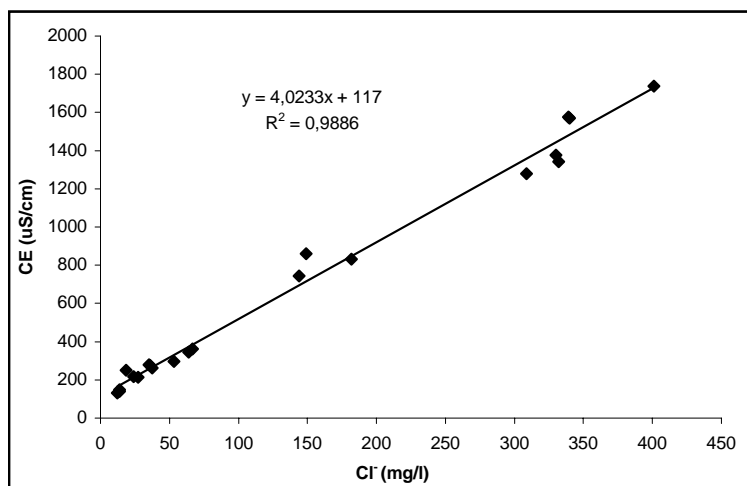


Gráfico 55 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

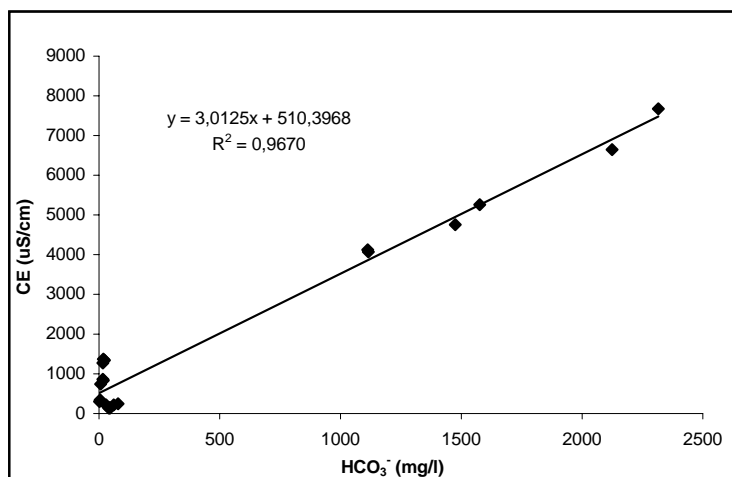


Gráfico 56 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO_3^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

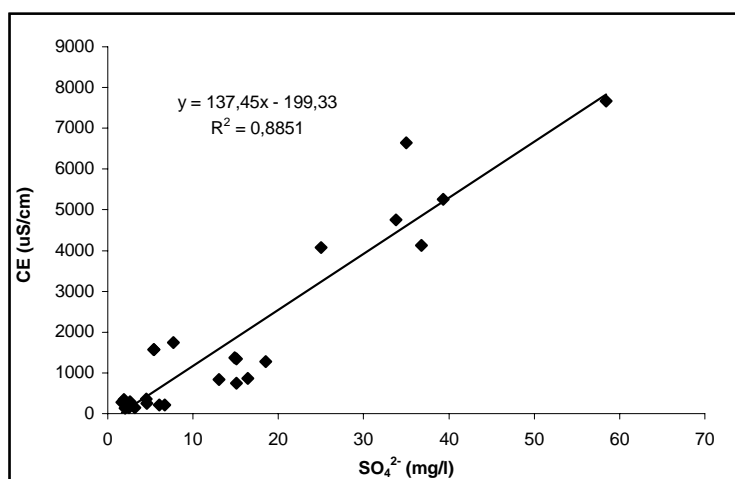


Gráfico 57 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

Mesmo após a exclusão dos valores dos pontos P2 e P3, a correlação do ião Cl^- com a condutividade da água dos restantes pontos mantém-se, o que já não se verificou com o bicarbonato e com o sulfato, como se constata nos gráficos 58 e 59.

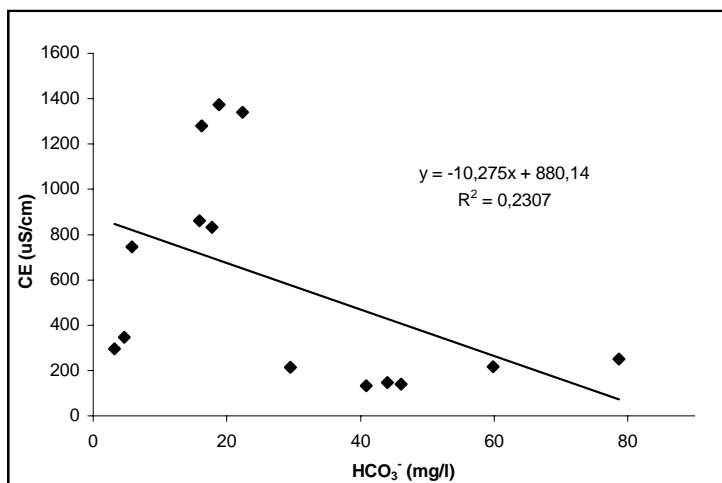


Gráfico 58 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de HCO_3^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas, excepto dos pontos P2 e P3).

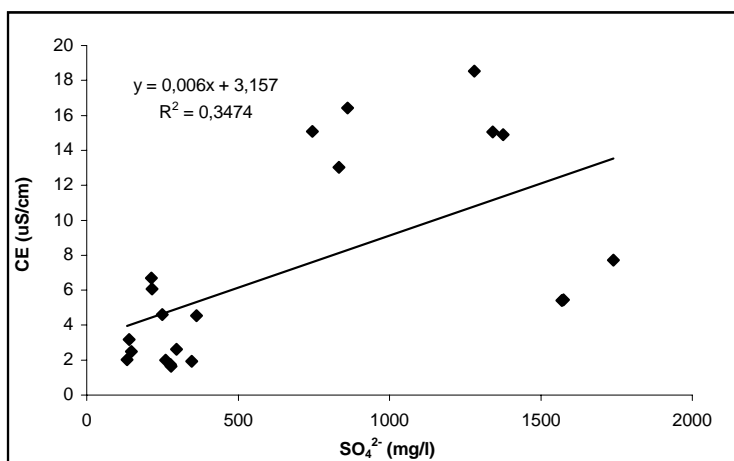


Gráfico 59 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de SO_4^{2-} na Lixeira de Braga (dados das três campanhas, excepto dos pontos P2 e P3).

Tais resultados, sugerem que o Cl^- é o principal responsável pela mineralização das amostras de água em geral, tendo o bicarbonato e o sulfato o papel principal na mineralização da água dos pontos P2 e P3.

B - Catiões

As concentrações dos catiões maiores presentes nas águas analisadas, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe, encontram-se representadas nos gráficos 60, 61, 62, 63 e 64.

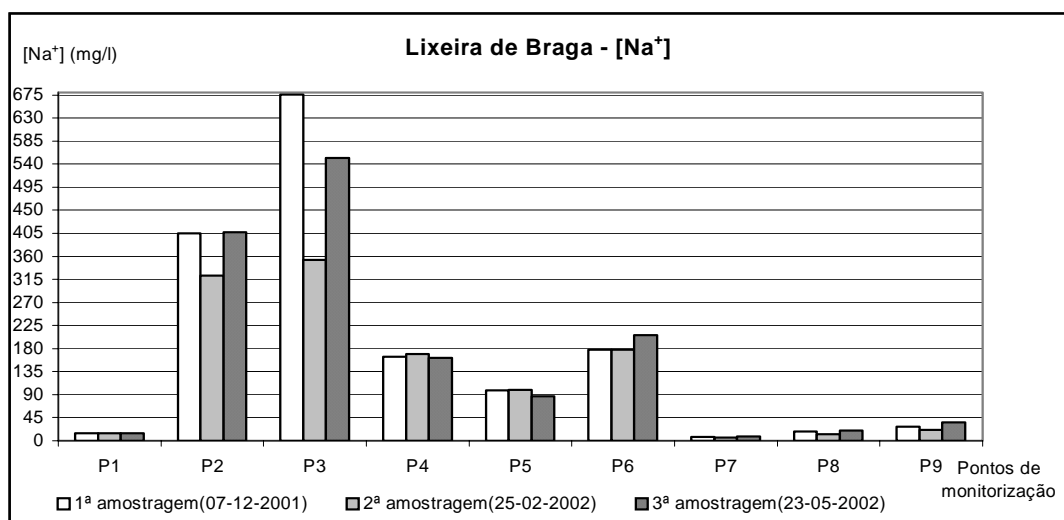
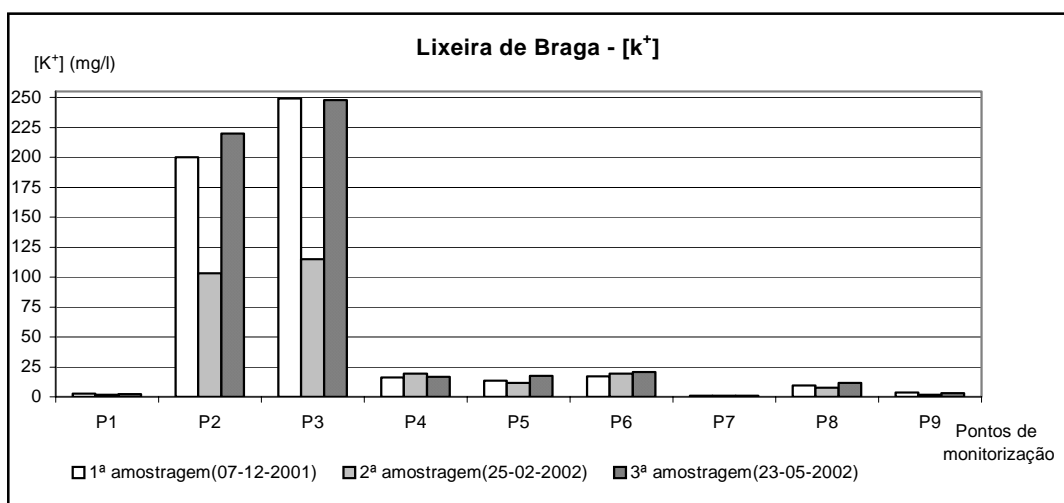
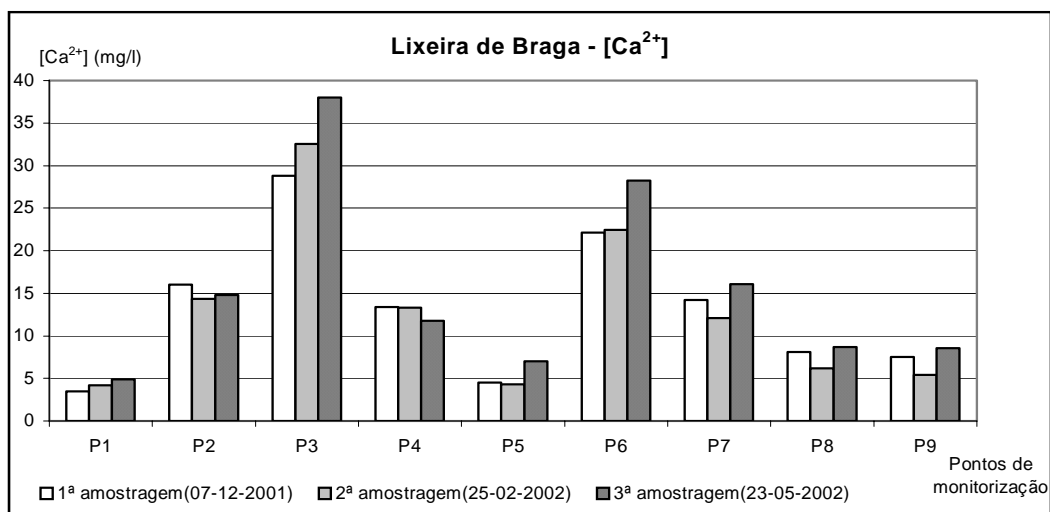
No caso dos catiões presentes nas amostras de águas relativas aos diferentes pontos de monitorização, quer nos piezómetros localizados na lixeira (pontos P1, P2 e P3), quer nos pontos na população de Paço (P4 a P9), o **catião dominante** é o **sódio**. Este catião apresenta concentrações muito elevadas na maioria dos pontos, encontrando-se as médias das três campanhas compreendidas entre 130 mg/l e 177 mg/l.

Relativamente aos pontos **P1**, **P2** e **P3**, seguem-se ao sódio os catiões K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e o Fe, por ordem decrescente de concentrações. Por sua vez, nos pontos **P4**, **P5**, **P6**, **P7**, **P8** e **P9**, o Mg^{2+} é o segundo catião mais abundante, seguindo-se o Ca^{2+} , o K^+ e, por fim, o Fe.

Assim, e de forma generalizada, o sódio é o catião dominante em todas as amostras de água dos pontos de monitorização da Lixeira de Braga e o ferro é o menos abundante. Os restantes catiões, K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} , dominam de forma diferente as águas dos piezómetros localizados no interior da lixeira e as dos pontos do aglomerado populacional.

Relativamente ao **sódio** (Gráfico 60), constata-se que algumas das amostras, 26%, não se encontram dentro das normas estipuladas por lei, ultrapassando o VP (200 mg/l). As amostras que contribuem para esta percentagem dizem respeito aos pontos P3 e P2 e também à amostra da última campanha do ponto P6. Os dois primeiros apresentam médias respectivas de 527 mg/l e 378 mg/l. O ponto P6, por sua vez, apresenta uma concentração média relativamente mais baixa de 187 mg/l. As restantes amostras, 74%, exibem concentrações de sódio dentro das normas estabelecidas pelo Decreto lei n.º 243/01 de 5 de Setembro. Deste modo, 11% das amostras dizem respeito a águas com teores de Na^+ inferiores a 11,5 mg/l (amostras do ponto P7) e 26% a amostras concentrações compreendidas entre 11,5 mg/l e 23 mg/l. Cerca de 63% apresentam teores mais elevados, superiores a 23 mg/l.

Os pontos com teores de Na^+ mais **elevados** são, assim, os pontos **P3** e **P2**, seguidos dos pontos **P6** e **P4**. O ponto **P7** é o que apresenta concentrações mais **baixas** (média de 7,5 mg/l).

Gráfico 60 – Concentração de Na⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.Gráfico 61 – Concentração de K⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.Gráfico 62 – Concentração de Ca²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

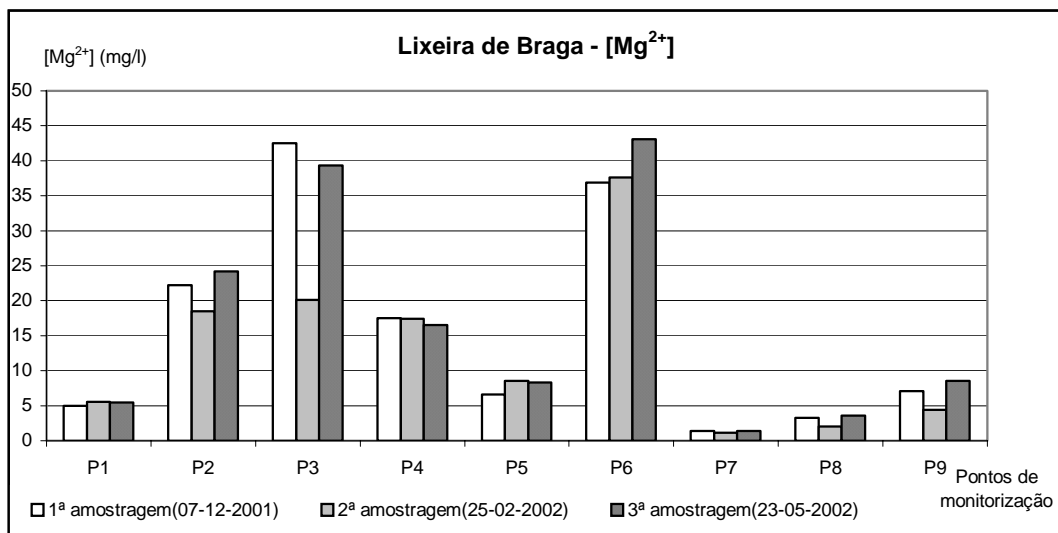


Gráfico 63 – Concentração de Mg²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

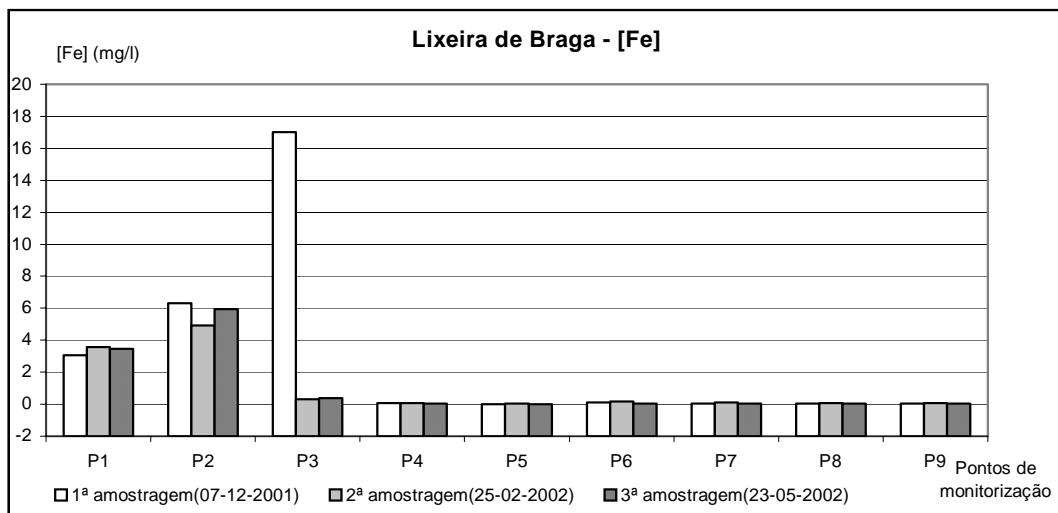


Gráfico 64 – Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

No que diz respeito ao **potássio** (Gráfico 61) embora não seja referido nenhum valor paramétrico para este catião no Decreto lei 243/01 de 5 de Setembro, verifica-se que as amostras revelam concentrações algo elevadas quando comparadas com as referidas por Reimann e Caritat (1998) como comuns nas águas subterrâneas (2,175 mg/l). Assim, 41% das amostras recolhidas evidenciam concentrações inferiores a 9,75 mg/l e 33% apresentam teores compreendidos entre 9,75 e 19,5 mg/l. Apenas uma amostra (4%) possui teores compreendidos entre 19,5 mg/l e 39 mg/l, correspondendo os restantes 22% a amostras com valores superiores a 39 mg/l.

Como se observa no gráfico 61, os pontos **P3** e **P2** são os que apresentam concentrações mais **elevadas** (médias respectivas de 204 mg/l e 174 mg/l), e o ponto **P7**, seguido dos pontos **P1**, **P9** e **P8**, os que possuem concentrações mais **baixas** (média de 0,9 mg/l, 2,3 mg/l, 2,7 mg/l e 9,6 mg/l, respectivamente).

As quantidades de **cálcio** (Gráfico 62) em todas as amostras são pouco significativas, uma vez que raramente ultrapassam o valor padrão de 25,7 mg/l referido por Reimann e Caritat (1998) como característico das águas subterrâneas. O valor mais elevado foi registado na última campanha do ponto **P3** (38 mg/l). Assim, aproximadamente 44% das amostras possui concentrações inferiores a 10 mg/l; 33% apresenta concentrações entre 10 mg/l e 20 mg/l e, 22%, possui teores superiores a 20 mg/l. Os pontos com **maiores concentrações** deste catião são o **P3** e o **P6**, seguidos dos pontos **P2**, **P7** e **P4** (média de 33 mg/l, 24 mg/l, 15 mg/l, 14 mg/l e 13 mg/l, respectivamente). Os pontos com **valores mais baixos** são o **P1**, **P5**, **P9** e **P8** (médias respectivas de 4,2 mg/l, 5,3 mg/l, 7,2 mg/l e 7,6 mg/l).

No caso do **magnésio** (Gráfico 63), verifica-se que surge nas amostras de água em concentrações algo elevadas, quando analisadas em comparação com o valor de 4,25 mg/l indicado por Reimann e Caritat (1998) para as águas subterrâneas. As amostras que evidenciam teores mais altos dizem respeito à 1ª e à 3ª campanha do ponto **P3** e às três campanhas do ponto **P6**. Estas exibem concentrações superiores a 24 mg/l e representam 22% do número total das amostras. As restantes possuem valores inferiores. Deste modo, 37% possuem concentrações inferiores a 6 mg/l; 19% apresentam teores compreendidos entre 6 mg/l e 12 mg/l e 22% entre 12 e 24 mg/l.

Os pontos com concentrações mais **elevadas** são o **P6** e o **P3**, com médias de 39mg/l e 34 mg/l, respectivamente, seguidos dos pontos **P2** e **P4**, com médias respectivas relativamente inferiores de 22 mg/l e 17 mg/l. O ponto **P7**, tal como se registou para os iões Na^+ e K^+ , é o ponto que apresenta as concentrações mais **baixas** (média de 1,3 mg/l).

As águas destinadas ao consumo, como já foi referido, não devem possuir teores de **ferro** superiores a 0,2 mg/l (VP). No entanto, da análise do gráfico 64, constata-se que alguns dos teores apresentados são superiores àquele. Assim, as amostras relativas às três campanhas dos pontos **P1**, **P2** e **P3** (33% das amostras) apresentam valores de Fe

superiores ao VP, com médias de 3,4 mg/l, 5,7 mg/l e 5,9 mg/l, respectivamente. As amostras da 2ª campanha dos pontos P6 e P7 embora não atinjam o VP estipulado, apresentam teores ainda elevados (0,16 mg/l e 0,12 mg/l, respectivamente). As restantes amostras, 67%, evidenciam concentrações de Fe inferiores a 0,1 mg/l. Verifica-se, deste modo, que o ponto que apresenta a média da concentração de ferro mais elevada é o ponto P3. Contudo, não devemos considerar este ponto como o que apresentou os valores mais elevados de Fe ao longo da monitorização, pois a média por ele apresentada é fortemente influenciada pelos elevados teores registados na 1ª campanha. Por este motivo, considera-se que os pontos **P2** e **P1** são os que apresentam concentrações mais **elevadas** de Fe, uma vez que estas se mantiveram mais ou menos constantes ao longo do período de monitorização. O ponto com concentrações mais **baixas** é o ponto **P5**, com média de 0,02 mg/l.

Após esta breve análise, verifica-se que, de uma forma geral, os valores médios mais elevados para todos os catiões se referem aos pontos P2, P3 e P6, à excepção do Fe, o qual surge em teores mais elevados nos pontos P1, P2 e P3, e não no ponto P6. Os valores mais baixos registaram-se no ponto P7, excepto no que se refere ao Ca^{2+} e ao Fe.

Das correlações estabelecidas entre os catiões sobressai a do par K^+/Na^+ (Gráfico 65).

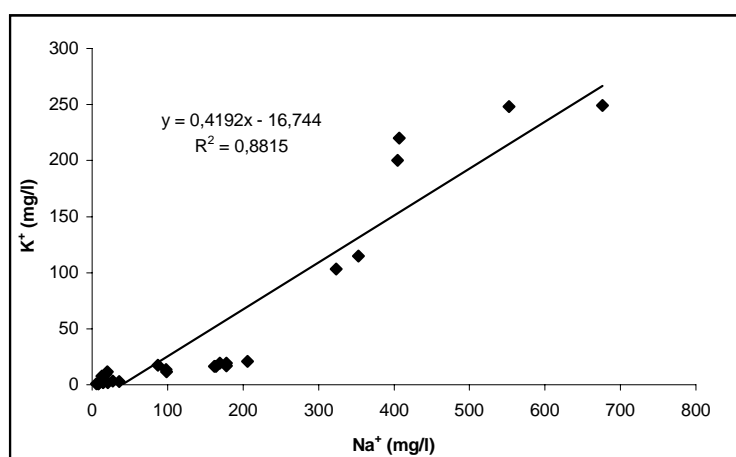


Gráfico 65 – Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Na^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

Assim, como se tem verificado nas correlações anteriores, distinguem-se novamente dois grupos de amostras. O primeiro grupo de seis amostras relativo aos pontos P2 e P3, onde as concentrações de sódio e potássio são mais elevadas e o segundo grupo, composto pelas amostras dos restantes pontos, com teores inferiores.

O sódio e o potássio foram também os catiões que evidenciaram as melhores correlações com a condutividade das águas (Gráficos 66 e 67) continuando a distinguir-se os dois grupos de amostras referidos.

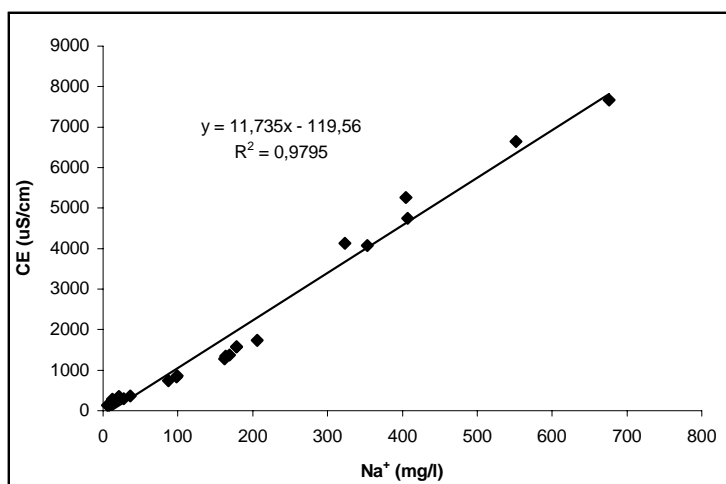


Gráfico 66 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Na^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

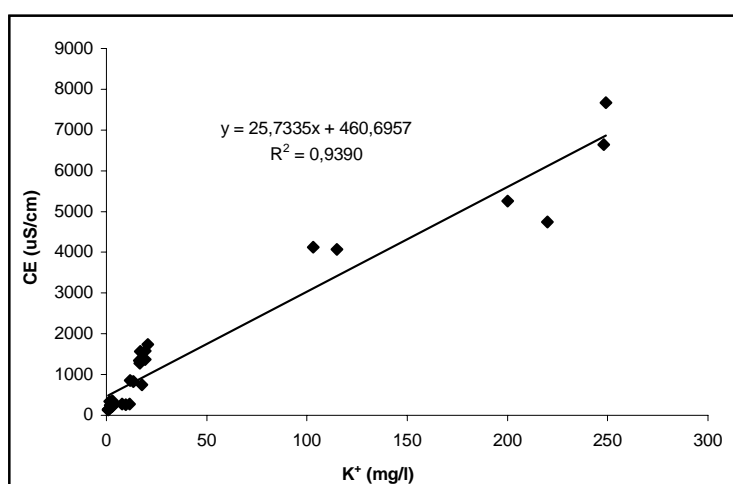


Gráfico 67 – Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de K^+ na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

O facto do sódio e do potássio presentes nas águas analisadas evidenciarem uma boa correlação entre si e com a condutividade sugere que estes dois catiões têm uma origem comum. Uma explicação possível é o Na^+ e o K^+ terem origem no processo de decomposição dos resíduos acumulados na lixeira, daí os pontos P2 e P3, localizados no interior da mesma, apresentarem sempre as concentrações mais elevadas. Estes catiões possivelmente migrarão através do fluxo subterrâneo até à povoação de Paço, acabando também por influenciar a composição das águas dos pontos aí localizados e a condutividade das mesmas. No entanto, devido a possíveis processos de atenuação ocorridos ao longo do fluxo das águas através dos solos, os catiões sódio e potássio surgem nas águas desses pontos em concentrações inferiores. Esta será uma possível explicação para o facto destes catiões revelarem uma boa correlação entre si e exercerem influência na condutividade das águas, distinguindo-se sempre dois grupos de amostras, um com concentrações mais elevadas referentes aos pontos P2 e P3 e outro com concentrações inferiores, alusivos aos restantes pontos de monitorização.

C – Aniões/Catiões

Das correlações averiguadas entre os catiões e os aniões destacam-se os resultados obtidos com os pares Na^+/Cl^- (Gráfico 68) e K^+/Cl^- (Gráfico 69).

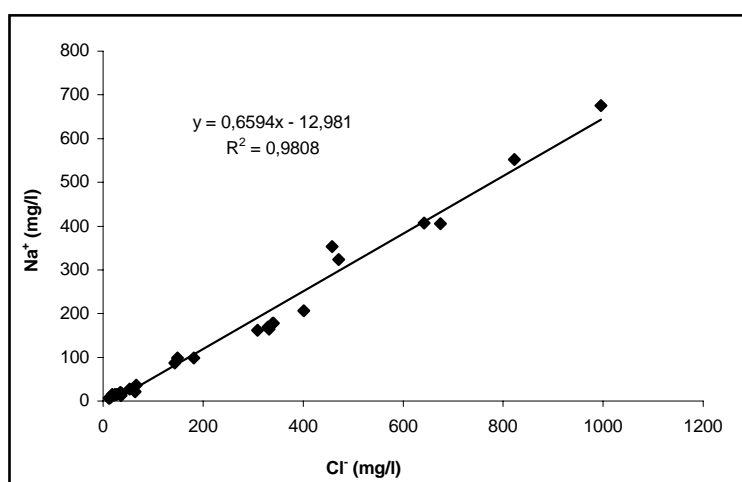


Gráfico 68 – Diagrama de dispersão da concentração de Na^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

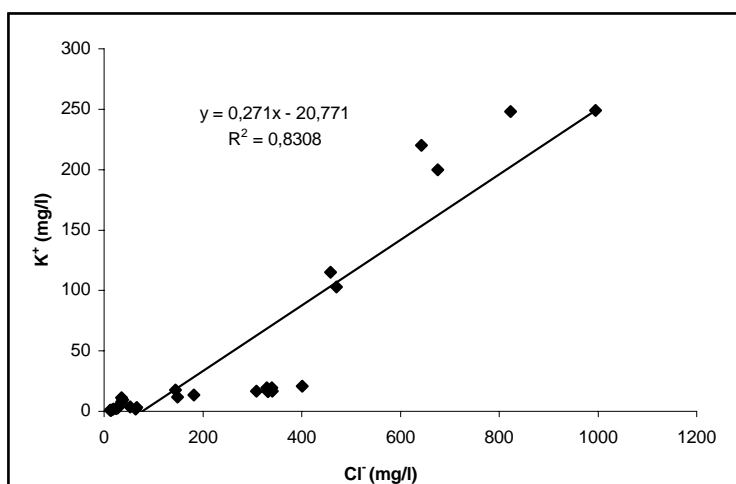


Gráfico 69 – Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira de Braga (dados das três campanhas).

Relativamente ao par Na^+/Cl^- , os valores obtidos na equação do diagrama (Gráfico 68) sugerem que esta correlação pode corresponder à dissolução do cloreto de sódio depositado na lixeira, uma vez que o valor da inclinação da recta, 0,6594, é muito aproximado ao da relação Na^+/Cl^- (0,6485).

No que diz respeito ao gráfico 69, verifica-se a presença de dois grupos. Um grupo de amostras com teores de K^+ e Cl^- mais elevados, correspondentes às campanhas dos pontos P2 e P3 e outro grupo, com concentrações inferiores, composto pela restantes amostras. A correlação entre o potássio e o cloreto parece indicar que estes têm a mesma origem, isto é, o potássio poderá ser, tal como o cloreto, resultado do processo de decomposição que ocorre na lixeira, motivo pelo qual está presente nos pontos P2 e P3 em concentrações elevadas.

D - Sílica

O gráfico 70 apresenta as concentrações de sílica presentes nas amostras de água dos diferentes pontos de monitorização ao longo das três campanhas, verificando-se que as concentrações médias de sílica mais elevadas são registadas no ponto P1 (média de 12 mg/l), seguidas, por ordem decrescente, pelos pontos P3, P6 e P4 (médias de 10,6 mg/l, 10,4 mg/l e 10,1 mg/l, respectivamente). Os pontos P3 e P1 foram também os pontos onde os teores de SiO_2 atingiram os valores mais elevados de todas as

campanhas. O primeiro atingiu na 3ª campanha uma concentração de 14,7 mg/l e o segundo, na mesma campanha, atingiu 13,2 mg/l.

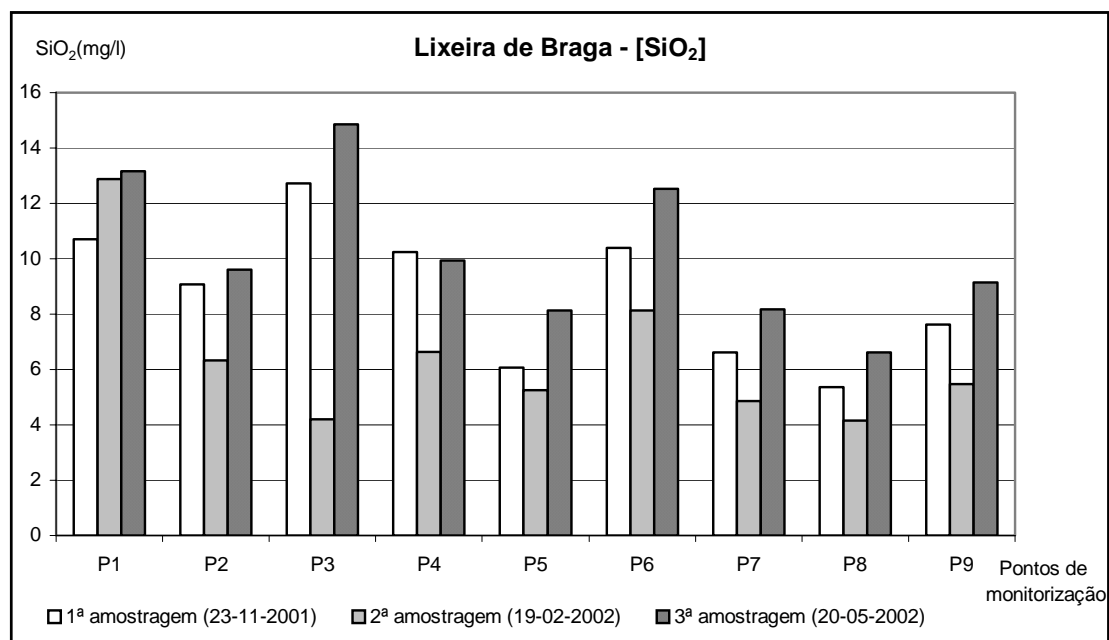


Gráfico 70 – Concentração de SiO₂ nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

Efectuando uma análise da evolução das concentrações de sílica ao longo das campanhas constata-se que, na campanha de Fevereiro, ocorreu uma descida destes teores em quase todos os pontos de monitorização. Esta descida poderá ter sido provocada pelo intenso período de chuva que ocorreu antes desta campanha, o que provocou uma intensificação do fluxo das águas no local, reduzindo o tempo de contacto água/rocha e, conseqüentemente, provocando uma diminuição dos teores de sílica. Na última campanha, estas concentrações voltaram a sofrer um aumento. As concentrações de sílica mais **baixas** foram registadas no ponto **P8** (média de 5,4 mg/l).

Efectuado o estudo sobre uma possível correlação entre as concentrações de sílica e os demais parâmetros da água não foram detectadas situações significativas, pelo que podemos afirmar que o contacto água/rocha, possivelmente, não exerce grande influência sobre a composição química da água.

E - Iões menores

As amostras de água da Lixeira de Braga apenas evidenciaram a presença de dois iões menores em concentrações acima do seu VP, que, tal como no ASB, são os catiões Al e Mn.

As concentrações referentes a estes iões nas três campanhas encontram-se representadas nos gráficos 71 e 72.

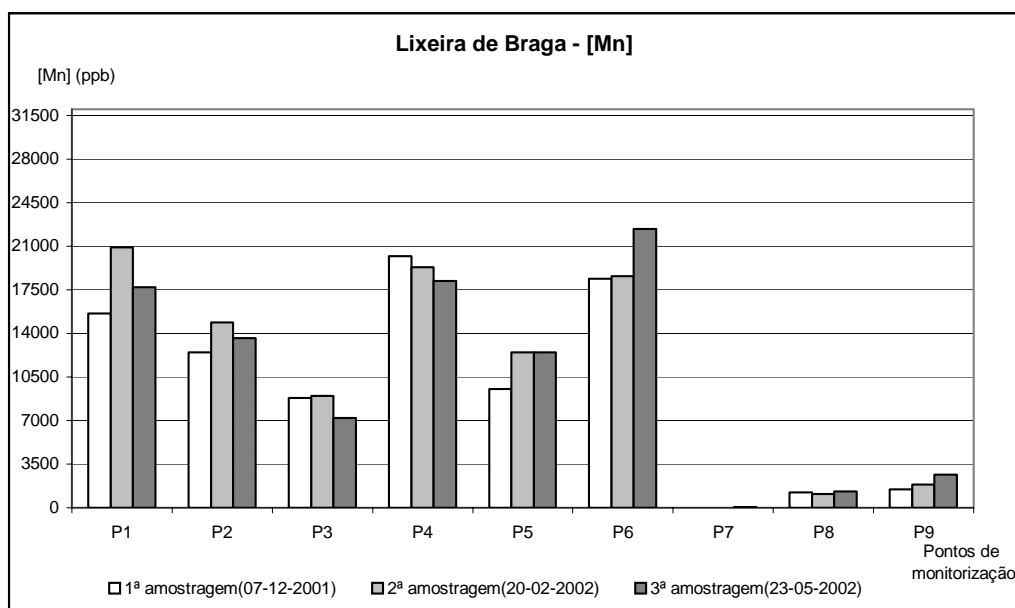


Gráfico 71 – Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

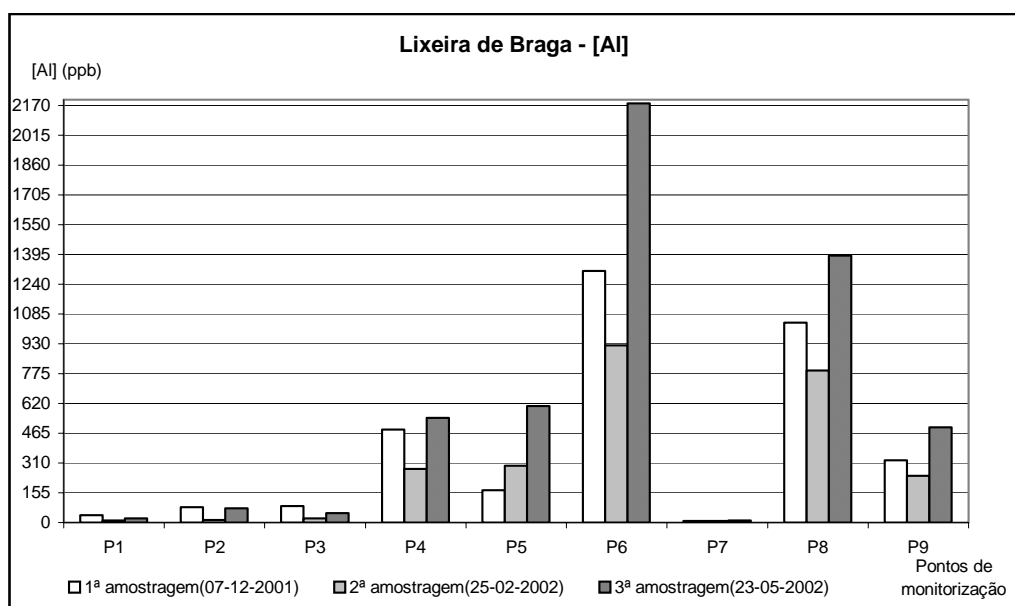


Gráfico 72 – Concentração de Al nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

No que diz respeito ao **manganês** (Gráfico 71), todos os pontos de monitorização, excepto o ponto P7, apresentam concentrações deste catião bastante superiores ao VP (50 ppb). O ponto **P7** é, deste modo, o ponto que evidencia os teores de manganês mais **baixos** (média de 21 ppb). Dado que até ao momento a água deste ponto revelou eventuais influências da lixeira, seria de esperar que as concentrações de Mn fossem mais elevadas, uma vez que os pontos P2 e P3 apresentam elevados teores desse catião. Tal não se verifica, possivelmente, pelo Eh da sua água ser mais elevado, o que dificultará a mobilidade do Mn.

Os pontos **P6** e **P4** são os que apresentam as concentrações mais **elevadas** de Mn, com teores médios de 19800 ppb e 19200 ppb, respectivamente. Segue-se o ponto **P1** com concentrações médias de 18066 ppb.

Pode concluir-se que apenas 11% dum total de 27 amostras é que não ultrapassa o VP, tendo 89% apresentado teores de manganésio muito superiores a esse valor. Estas exibiram concentrações compreendidas entre 859 ppb e 27500 ppb.

O **alumínio** surge também em concentrações elevadas em grande parte das amostras (52%), à excepção dos pontos **P1**, **P2**, **P3** e **P7** que possuem este catião em concentrações inferiores ao VP (200 ppb) (Gráfico 72). Estas baixas concentrações podem ser justificadas pelo pH elevado das suas águas que impede a mobilidade do alumínio e que leva à sua consequente diminuição de concentração na água. Pelo contrário, os restantes pontos, como possuem águas mais ácidas, apresentam condições que favorecem a mobilidade do alumínio e daí este surgir em teores mais elevados. Os pontos **P6** e **P8**, como são os pontos com as águas mais ácidas (médias de 4,47 e 4,59, respectivamente), são também aqueles que exibem as maiores concentrações de Al.

Assim, 26% das amostras apresenta concentrações de Al inferiores a 26,4 ppb, 7% entre 28,4 ppb e 52,7 ppb e 14,8% tem teores compreendidos entre 52,7 ppb e 211 ppb.

F – Elementos traço

As amostras de águas da Lixeira de Braga revelaram a presença de alguns elementos traço em concentrações um pouco elevadas, acima dos valores estipuladas por lei para as águas de consumo. Esses iões são: o crómio e, à semelhança do ASB, o

arsénio, o níquel e o cobre. As concentrações destes iões estão representadas nos gráficos 73, 74, 75 e 76.

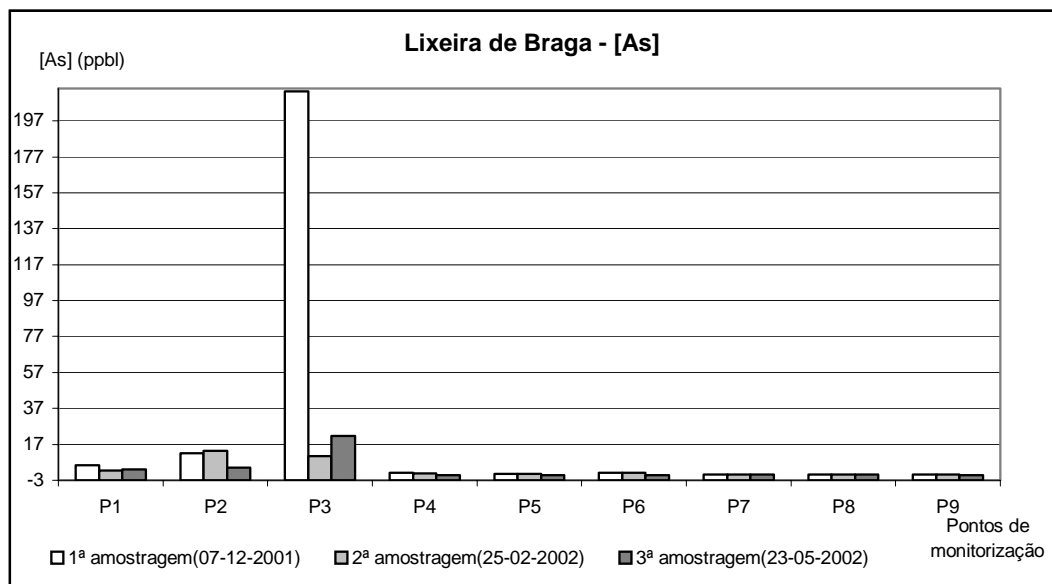


Gráfico 73 – Concentração de As nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

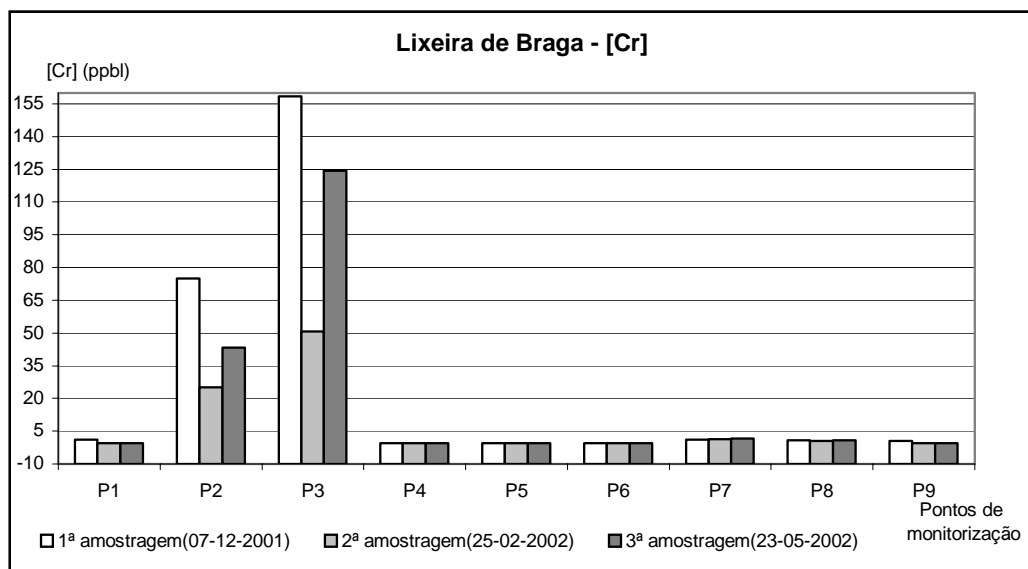


Gráfico 74 – Concentração de Cr nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

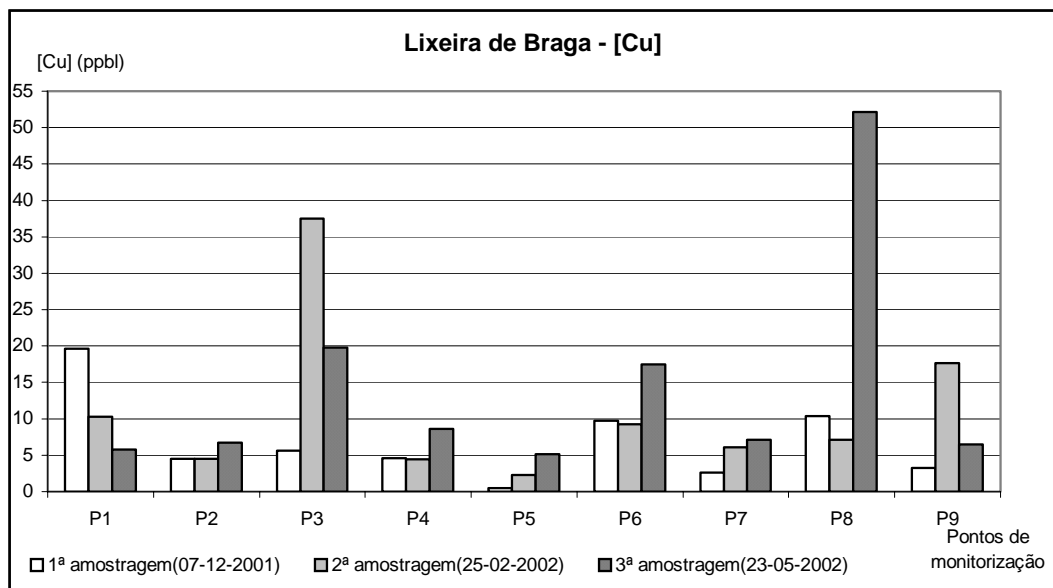


Gráfico 75 – Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

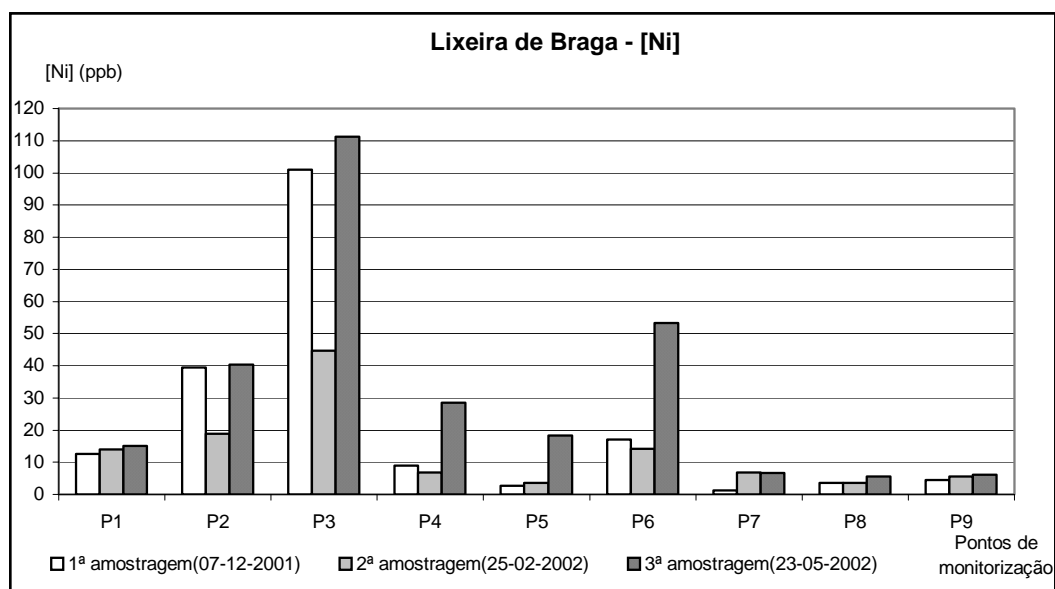


Gráfico 76 – Concentração de Ni nas três campanhas efectuadas na Lixeira de Braga.

O **arsénio** (Gráfico 73) está presente em quase todas as amostras estudadas em concentrações inferiores ao VP (10 ppb), excepto nas 1ª e 2ª campanhas do ponto P2 e nas três campanhas do ponto P3. As concentrações mais **elevadas** dizem respeito ao ponto **P3**, enquanto que as mais **baixas** foram registadas no ponto **P7**. Note-se que o arsénio é um elemento com baixa mobilidade, motivo pelo qual ele poderá surgir nos pontos P2 e P3 em concentrações elevadas, dada a sua proximidade da lixeira, e em teores inferiores nos restantes pontos já mais distantes desse local.

No que diz respeito ao **Cr** (Gráfico 74), num total de 27 amostras, 4 (15%) apresentam concentrações superiores ao VP definido por lei (50 ppb). Estas amostras dizem respeito às três campanhas efectuadas no ponto **P3** e à 1ª campanha do ponto **P2**. Nas restantes campanhas, o ponto P2, embora não atinja o valor paramétrico, continuou a evidenciar elevados teores de crómio. As restantes amostras exibiram águas com valores de crómio pouco significativos. A explicação para este teores pode ser idêntica à referida para o arsénio, uma vez que este elemento também tem baixa mobilidade.

Analisando as concentrações de **cobre** (Gráfico 75), verifica-se que quase todas as amostras da Lixeira de Braga, 96%, exibem teores de Cu superiores ao seu VP de 2 ppb. A única amostra que apresenta teores inferiores é a 1ª campanha do ponto P5.

Como se verifica no gráfico 75, os pontos com as concentrações mais **elevadas** são **P8** e **P3** e os pontos **P5**, **P2** e **P7** são os que têm os valores de cobre mais **baixos**. O ponto P3 apresenta teores elevados, provavelmente pela sua proximidade do local de deposição de resíduos, enquanto que P8, pelo facto de possuir águas mais ácidas (média de 4,59), facilita a mobilidade do cobre.

Relativamente ao **Ni** (Gráfico 76), apenas os pontos **P2**, **P3**, **P4** e **P6** é que apresentam teores algo **elevados**, excedendo o VP de 20 ppb. O ponto P2 ultrapassou este valor nas 1ª e 3ª campanhas e o ponto P3 ultrapassou em todas as campanhas, sendo este o ponto com a concentração média mais elevada (85,5 ppb). O ponto P6 ultrapassou o valor referido apenas na última campanha. Os pontos P2 e P3 apresentam estes valores elevados, em princípio, pela sua já referida proximidade com a lixeira, enquanto que os pontos P4 e P6, devido aos baixos valores de pH e Eh elevados, facilitam a mobilidade deste catião nas suas águas. As restantes amostras (74%) possuem valores abaixo do valor paramétrico referido no decreto lei 243/01 de 5 de Setembro. O ponto **P8** foi o ponto onde se registaram os teores **mais baixos**, atingindo uma concentração média de apenas 4 ppb.

4.3.3 – SÍNTESE

As águas adjacentes à Lixeira de Braga apresentaram condutividades médias que variam entre 136 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Atendendo aos valores de pH registados podemos caracterizar estas águas como ácidas.

Dada a pouca profundidade apresentada por alguns pontos, como por exemplo os pontos P1, P2 e P3, as suas águas parecem sofrer uma certa influência da precipitação.

À semelhança do ASB, também os pontos de água desta área de estudo evidenciaram elevadas concentrações de bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio. Também os iões Mn e Al surgem em teores superiores ao VP estipulado de Decreto Lei para as águas de consumo, assim como o Cu. Em alguns pontos, P2, P3, P4 e P6, é também notável a presença de Cr, Ni e As em valores excessivos.

Os dados analisados parecem sugerir a existência de dois grupos de pontos de água distintos. Um primeiro grupo composto pelos pontos P2, P3, P4, P5, P6 e P7 e um segundo grupo composto pelo ponto P8. O primeiro grupo é formado pelos pontos que exibiram os valores mais elevados ao longo da monitorização e que, por esta razão, são os que maior influência sofrem da lixeira. Dos seis pontos destacam-se o P2 e o P3. Estes, eventualmente, devido à sua próxima localização da linha de fluxo de águas e da zona onde o maciço rochoso de encontra mais alterado apresentam maior susceptibilidade à percolação de possíveis lixiviados. Por sua vez, o ponto P1, embora também muito próximo da lixeira, como se encontra situado a montante revela um menor grau de contaminação.

O ponto P7, situado na povoação, imediatamente abaixo da lixeira, parece evidenciar uma certa relação com os valores registados em P2 e P3, pelo que poderá estar sob a influência dos processos de decomposição.

No que diz respeito a P8, de acordo com os resultados analisados, este parece ser o ponto que menos influência sofre com a presença da lixeira. A sua distante localização da área de deposição de resíduos pode ser a justificação para os valores encontrados.

4.4 – EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA NA LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO

4.4.1 - DADOS DE CAMPO

A - *Temperatura*

As temperaturas registadas nos diferentes pontos de água inventariados na povoação da Quintã, ao longo do período de monitorização (de 19 de Setembro de 2001 a 1 de Julho de 2002), encontram-se apresentados no gráfico 77. O quadro 23 apresenta a descrição estatística desses valores.

Tal como o verificado na Lixeira de Braga, também os valores da temperatura das águas da Lixeira da Póvoa de Lanhoso devem ser encarados com algumas restrições, uma vez que se revelam bastantes elevados, podendo não corresponder às temperaturas reais das águas analisadas.

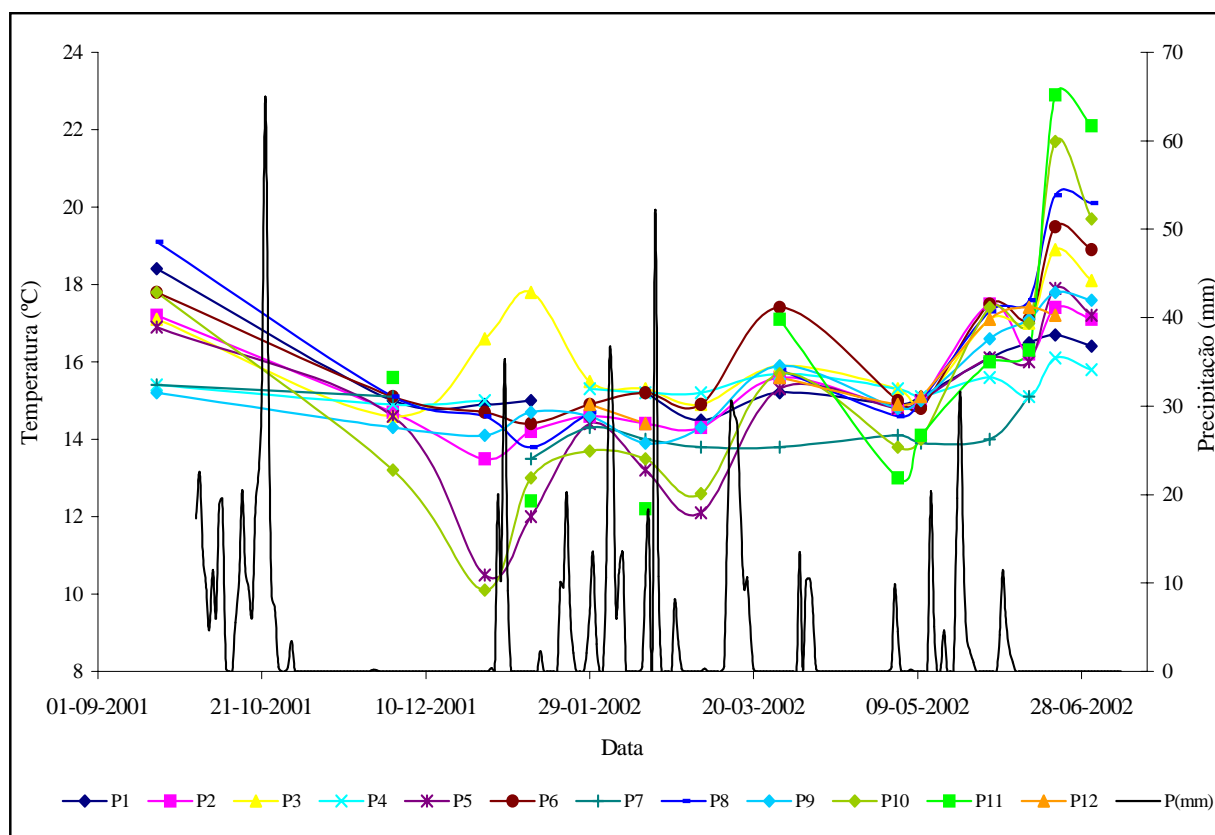


Gráfico 77 – Variação da temperatura (°C) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Quadro 23 – Estatística descritiva dos valores da temperatura recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

| LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|
| Temperatura (°C) - Monitorização | | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| Mínimo | 14,5 | 13,5 | 14,6 | 14,9 | 10,5 | 14,4 | 13,5 | 13,8 | 13,9 | 10,1 | 12,2 | 14,4 |
| Máximo | 18,4 | 17,5 | 18,9 | 16,1 | 17,9 | 19,5 | 15,4 | 20,3 | 17,8 | 21,7 | 22,9 | 17,4 |
| Média | 15,7 | 15,5 | 16,4 | 15,4 | 14,7 | 16,2 | 14,3 | 16,5 | 15,4 | 15,2 | 16,2 | 15,8 |
| D. Padrão | 1,1 | 1,4 | 1,3 | 0,3 | 2,1 | 1,7 | 0,6 | 2,3 | 1,3 | 3,1 | 10337,8 | 1,2 |
| Coef. Variação | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,02 | 0,15 | 0,11 | 0,04 | 0,14 | 0,09 | 0,21 | 639,32 | 0,08 |

Os pontos que apresentaram as **temperaturas médias mais elevadas** foram os pontos **P8** e **P3**. O primeiro com temperaturas compreendidas entre 13,8 °C e 20,3 °C (média de 16,5 °C) e o segundo entre 14,6 °C e 18,9 °C (média de 16,4 °C). Seguem-se os pontos **P6** e **P11** ambos com temperaturas médias de 16,2 °C.

As temperaturas máximas registaram-se nos pontos P11 e P12 (22,9 °C e 21,7 °C, respectivamente).

O ponto **P7** é o ponto de água que apresentou as **temperaturas mais baixas** seguindo-se o ponto **P5**, com temperaturas médias respectivas de 14,3 °C e 14,7 °C.

Após esta breve análise constatámos que as temperaturas médias das águas dos diferentes pontos não apresentam uma diferença significativa entre si. Se compararmos a temperatura média mais alta (ponto P8; 16,5 °C) com a temperatura média mais baixa (ponto P7; 14,3 °C) verificamos que a diferença entre elas é apenas de 2,2 °C.

De um modo geral, todos os pontos de água evidenciaram algumas **oscilações nos valores da temperatura**. Os pontos **P3**, **P5**, **P10** e **P11**, tal como se observa no gráfico 77, são aqueles em que essa variação é mais significativa. Pelo contrário, os pontos **P4** e **P7** não manifestaram esta oscilação de valores mantendo-se a **temperatura das suas águas sensivelmente constante**. No ponto P4 foi registada uma temperatura mínima de 14,9 °C e uma temperatura máxima de 16,1 °C; no ponto P7 a temperatura mínima registada foi de 13,5 °C e a temperatura máxima de 15,4°C. Este ponto apresenta um comportamento algo distinto dos restantes.

As temperaturas evidenciaram uma subida generalizada a partir da amostragem do dia 3 de Maio, momento em que a temperatura ambiente começou também a aumentar.

B – Condutividade

Apresenta-se de seguida, no gráfico 78, a variação da condutividade nos diferentes pontos de água ao longo do período de monitorização. A estatística descritiva destes valores encontra-se no quadro 24. Da análise destes dados, verifica-se que os valores da condutividade, na maioria dos pontos de água, não sofreu grandes oscilações, mantendo-se sempre mais ou menos constantes. Foram apenas registadas **variações ligeiras** em alguns momentos de monitorização dos pontos **P2, P3, P9, P10 e P12**.

Os pontos onde se registaram as maiores oscilações na condutividade são precisamente aqueles onde esses valores atingiram os **valores mais elevados**. Assim, o ponto **P3** é o ponto em que as águas apresentam maior condutividade, com um valor médio de 853,6 $\mu\text{S/cm}$, seguido do ponto **P12** com condutividade média de 721,3 $\mu\text{S/cm}$. Com valores um pouco mais baixos seguem-se os pontos P7, P9 e P4, com condutividades médias respectivas de 183,3 $\mu\text{S/cm}$, 123,7 $\mu\text{S/cm}$ e 101,2 $\mu\text{S/cm}$.

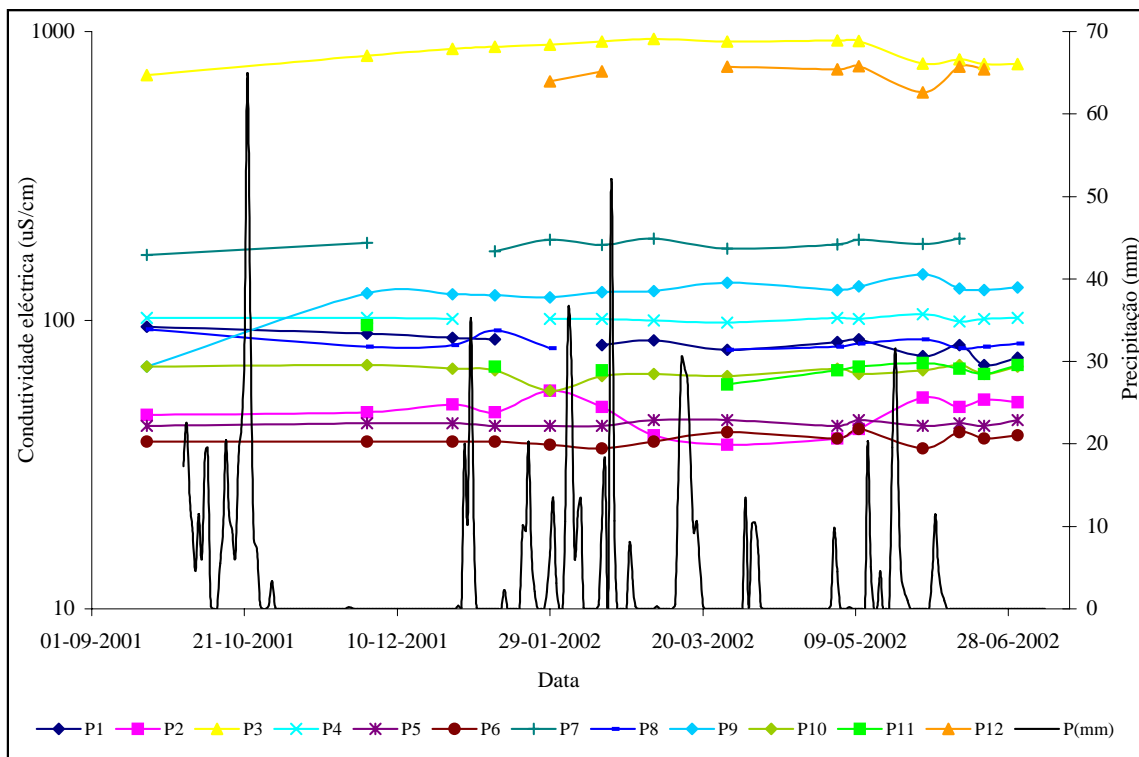


Gráfico 78 – Variação da condutividade eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Quadro 24 – Estatística descritiva dos valores da condutividade recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

| LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|
| Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - Monitorização | | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| Mínimo | 70 | 37 | 707 | 98 | 43 | 36 | 168 | 79 | 69 | 57 | 60 | 616 |
| Máximo | 95 | 57 | 942 | 105 | 45 | 42 | 192 | 93 | 144 | 70 | 96 | 760 |
| Média | 82,7 | 47,7 | 853,6 | 101,2 | 43,8 | 38,6 | 183,3 | 83,4 | 123,7 | 66,3 | 70,2 | 721,3 |
| D. Padrão | 6,8 | 6,1 | 76,7 | 1,7 | 0,9 | 1,8 | 7,9 | 4,6 | 16,9 | 3,4 | 9,6 | 51,1 |
| Coef. Variação | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,14 | 0,05 | 0,14 | 0,07 |

Os pontos **P2**, **P5** e **P6** são os que apresentam águas com **condutividades mais baixas**. No primeiro foram registados valores compreendidos entre 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 57 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando uma condutividade média de 47,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O ponto P5 apresenta uma condutividade média algo próxima da do ponto P2, 43,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo o seu valor mínimo de 43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o máximo de 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Com os valores de condutividade mais baixos de todos os pontos de monitorização temos o ponto P6, com uma média de 38,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A condutividade mínima apresentada foi de 36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a máxima de 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Da observação da figura 16, relativa à distribuição espacial dos pontos de monitorização junto à lixeira da Póvoa de Lanhoso, verifica-se que os pontos com as condutividades mais elevadas, P3 e P12, são aqueles que estão situados imediatamente abaixo do local onde ocorria a deposição e queima de resíduos e também bastante próximos de uma das zonas de fracturas. É também de notar que a condutividade deste dois pontos sofre um ligeiro aumento após um período de chuva intensa, o que se poderá dever-se à mobilização de sais da lixeira por acção da chuva infiltrada.

C – pH

Os valores de pH das águas analisadas nas proximidades da Lixeira da Póvoa de Lanhoso apresentaram, ao longo de todo o período de monitorização, valores compreendidos entre 5,37 e 6,65, pelo que podem ser definidas como **águas ácidas**.

Observando o gráfico 79, que representa a variação dos valores de pH nos diferentes pontos de monitorização da Póvoa de Lanhoso, e o quadro 25, onde é feita a

descrição estatística dos valores registados para esse parâmetro, verifica-se que o **pH não sofreu oscilações muito significativas** ao longo deste estudo, o que é comprovado pelos baixos coeficientes de variação. No entanto, da segunda para a terceira medição, de 30 de Novembro a 28 de Dezembro, ocorreu, em quase todos os pontos, uma subida significativa do pH. Esta subida nos pontos P3, P5 e P8 deu-se de modo menos acentuado. Nos pontos P7, P11 e P12 não é possível averiguar se esta subida também se verificou uma vez que as respectivas medições não foram efectuadas. Relativamente ao ponto P7, a medição não foi realizada pelo facto da água deste poço estar a ser desviada pelos proprietários para utilização agro-pecuária. Nos pontos P11 e P12 a monitorização não se efectuou devido à ausência dos proprietários. A referida subida dos valores de pH pode ter sido provocada pela ausência de precipitação que se verificou nesse intervalo de tempo e que levou, provavelmente, a uma diminuição de H^+ na água. Após esta subida dos valores de pH, nas medições seguintes, dos dias 11 e 29 de Janeiro, verificou-se a descida desses mesmos valores, eventualmente devido ao período de chuva que entretanto teve início.

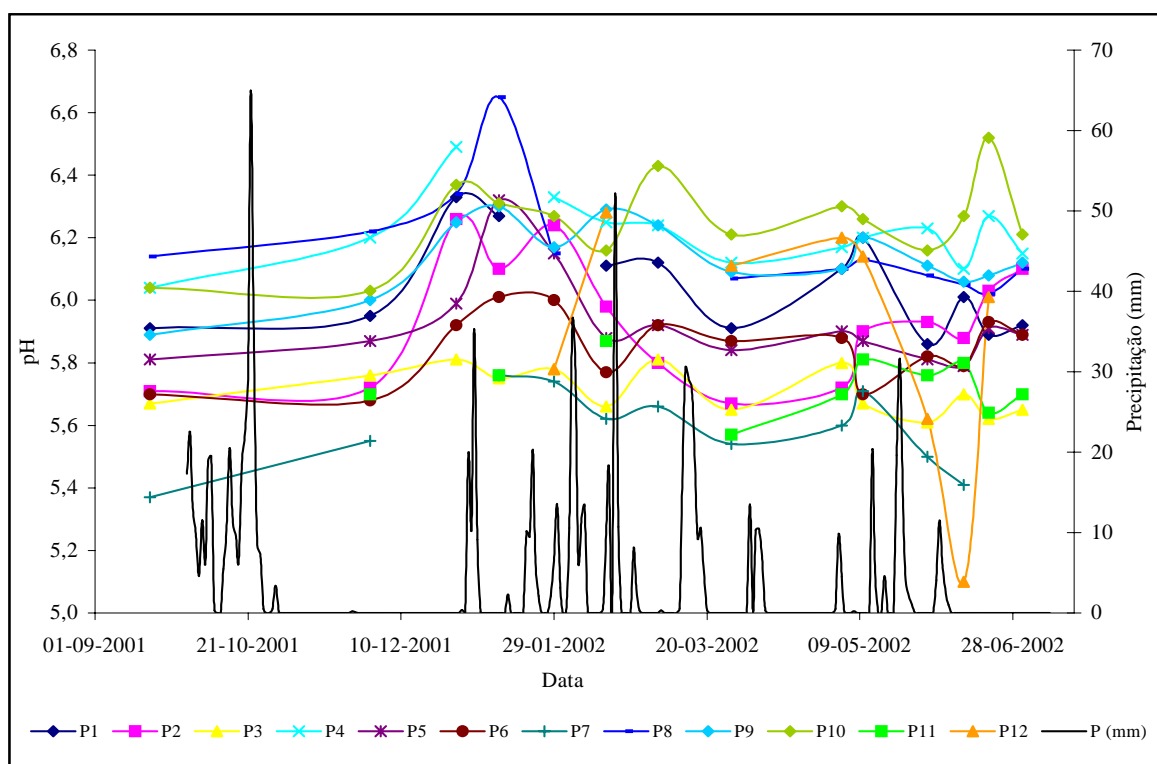


Gráfico 79 – Variação do pH e da precipitação (mm) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Quadro 25 – Estatística descritiva dos valores do pH recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

| LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH - Monitorização | | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| Mínimo | 5,86 | 5,67 | 5,61 | 6,04 | 5,79 | 5,68 | 5,37 | 6,02 | 5,89 | 6,03 | 5,57 | 5,10 |
| Máximo | 6,33 | 6,26 | 5,81 | 6,49 | 6,32 | 6,01 | 5,76 | 6,65 | 6,30 | 6,52 | 5,87 | 6,28 |
| Média | 6,04 | 5,93 | 5,71 | 6,21 | 5,93 | 5,85 | 5,59 | 6,17 | 6,14 | 6,25 | 5,73 | 5,91 |
| D. Padrão | 0,16 | 0,20 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,39 |
| Coef. Variação | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,07 |

Os pontos que apresentaram águas com valores de **pH mais elevados** foram o **P10** e o **P4**, sendo os seus pH médios de 6,25 e 6,21, respectivamente. O ponto **P7** foi o que apresentou a **água mais ácida** ao longo de toda a monitorização, sendo o seu pH médio de 5,59.

D – Eh

O Eh das águas analisadas evidenciou algumas oscilações ao longo das medições efectuadas, encontrando-se os valores entre 271 mV e 320 mV sensivelmente.

Os valores obtidos para este parâmetro em cada um dos pontos de água encontram-se representados no gráfico 80. O quadro 26 apresenta a descrição estatística desses valores.

Os valores de **Eh mais elevados** correspondem à água do ponto **P2**, que apresenta um Eh médio de 319 mV. Seguem-se os pontos **P5** e **P6** (313 mV e 310 mV, respectivamente). Os pontos **P7** e **P12** foram os que revelaram os **valores mais baixos**, ambos com Eh médio de 271 mV.

Após esta análise, constata-se que os pontos com Eh mais elevado são aqueles que se encontram mais afastados da lixeira e que apresentaram valores de condutividade mais baixos (P2, P5 e P6). Por outro lado, os pontos que apresentaram Eh mais baixos, encontram-se situados a menor distância da lixeira e foram os que apresentaram condutividades mais elevadas. Estes valores poderão estar relacionados com os processos de decomposição aeróbia que ocorrem na lixeira e que consomem parte do

oxigénio disponível, baixando os valores de Eh, e que contribuem com iões para a água aumentando a condutividade eléctrica das mesmas.

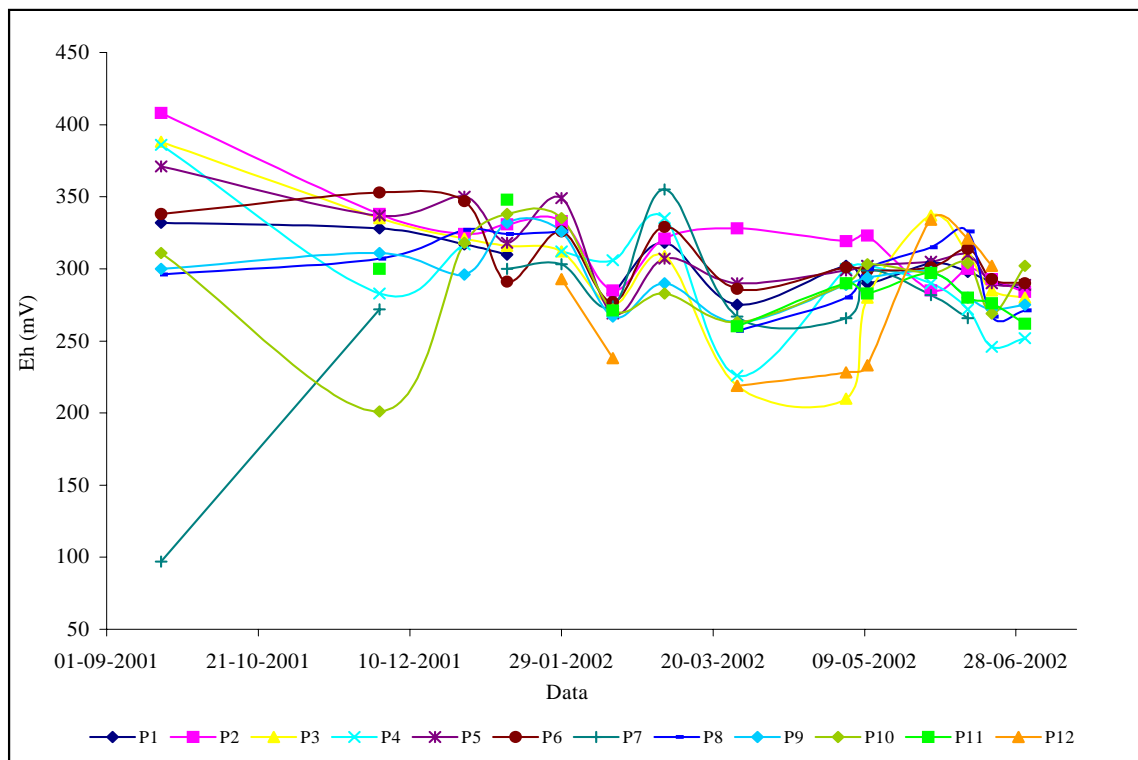


Gráfico 80 – Variação do Eh (mV) nos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Quadro 26 – Estatística descritiva dos valores do Eh recolhidos ao longo do período de monitorização nos diferentes pontos seleccionados na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

| LIXEIRA DA PÓVOA DE LANHOSO | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eh (mV) - Monitorização | | | | | | | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| Mínimo | 275 | 284 | 210 | 226 | 269 | 277 | 97 | 257 | 263 | 201 | 260 | 219 |
| Máximo | 332 | 408 | 388 | 386 | 371 | 353 | 355 | 327 | 332 | 338 | 348 | 334 |
| Média | 302,6 | 319,4 | 298,4 | 294,4 | 313,3 | 310,4 | 271,0 | 299,7 | 292,4 | 291,9 | 286,7 | 271,0 |
| D. Padrão | 17,7 | 32,0 | 46,1 | 41,4 | 28,6 | 24,2 | 63,4 | 25,4 | 20,7 | 34,6 | 25,4 | 46,3 |
| Coef. Variação | 0,06 | 0,10 | 0,15 | 0,14 | 0,09 | 0,08 | 0,23 | 0,08 | 0,07 | 0,12 | 0,09 | 0,17 |

4.4.2 - DADOS DE LABORATÓRIO

Na Lixeira da Póvoa de Lanhoso, tal como no ASB e na Lixeira de Braga, foram efectuadas três campanhas de amostragem e análise de águas. A primeira realizou-se a 30 de Novembro de 2001 e as segunda e terceira a 15 de Fevereiro e a 10 de Maio, respectivamente. No ponto **P8** não se efectuou a segunda campanha, pois o gerador que permitia retirar a água deste ponto encontrava-se avariado. Relativamente ao ponto **P12**, não foram registados os valores relativos à 1ª campanha pelo facto de no dia em que essa campanha ocorreu ainda não termos autorização dos proprietários para efectuar a sua monitorização.

A – Aniões

As concentrações registadas em cada uma das campanhas para os diferentes aniões, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e NO_3^- , encontram-se representadas nos gráficos 81, 82, 83 e 84.

À semelhança do observado no ASB e na Lixeira de Braga, também nas águas analisadas nos pontos próximos da Lixeira da Póvoa de Lanhoso, os aniões HCO_3^- e Cl^- são **dominantes**. Seguem-se, por ordem decrescente de concentrações, os aniões NO_3^- e SO_4^{2-} .

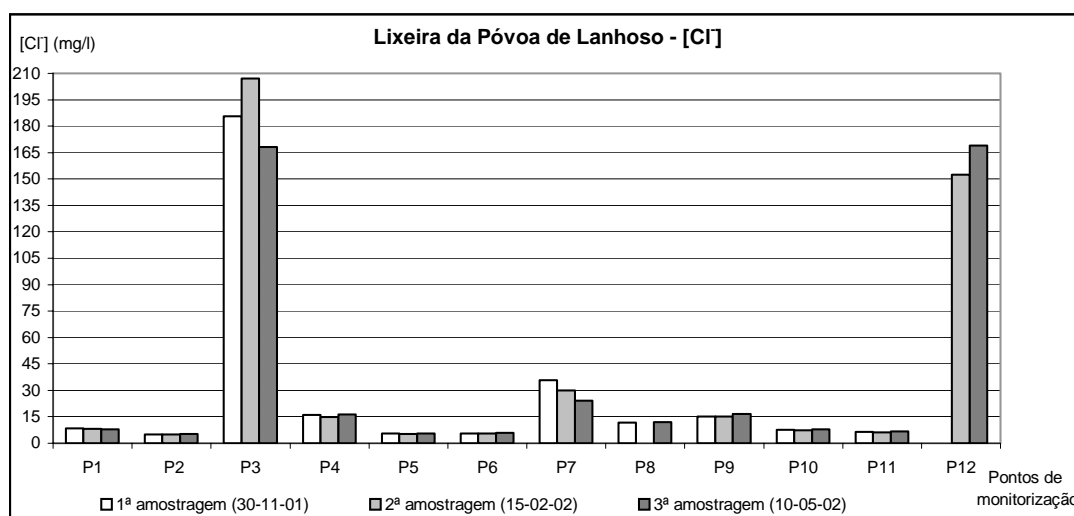
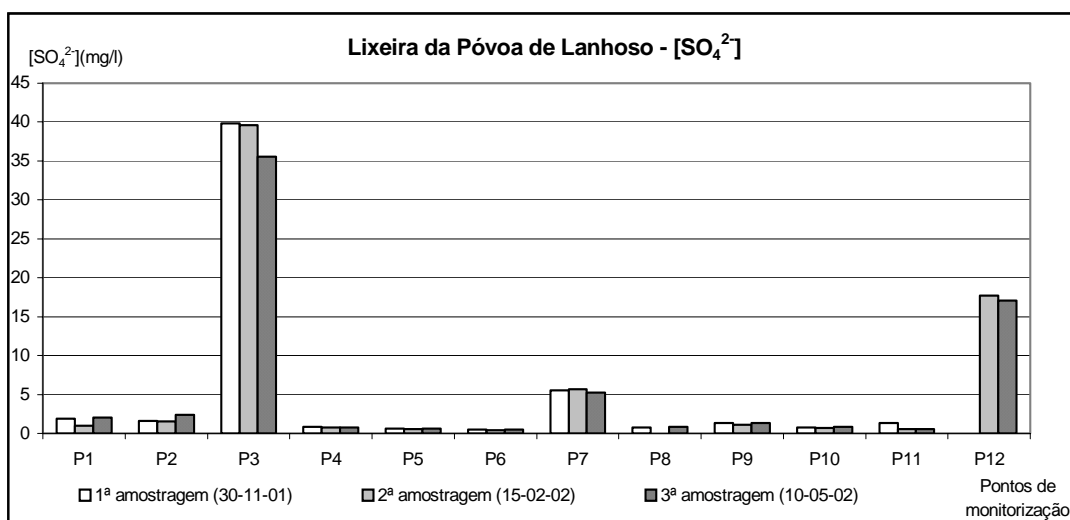
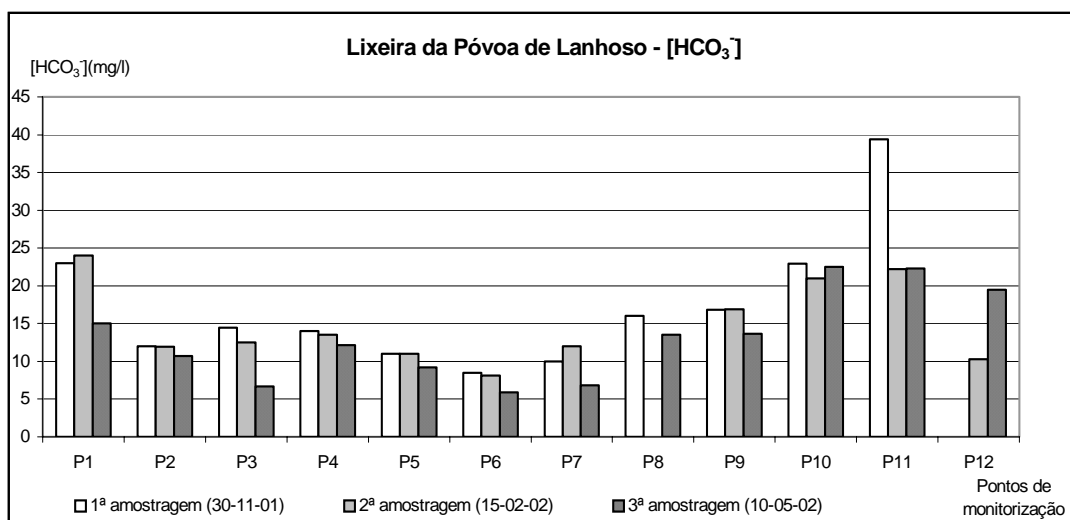
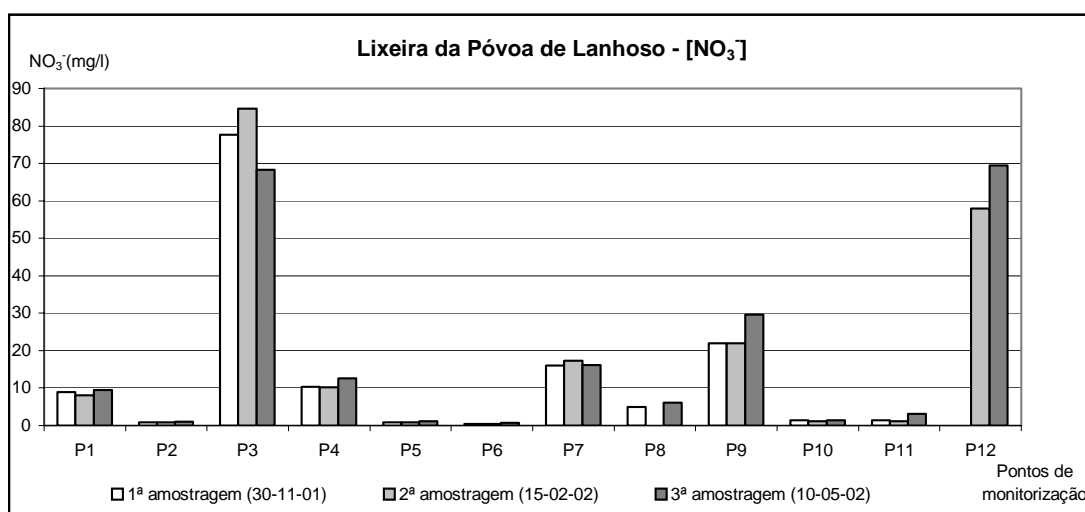


Gráfico 81 – Concentração de Cl^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Gráfico 82 – Concentração de SO_4^{2-} nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.Gráfico 83 – Concentração de HCO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.Gráfico 84 – Concentração de NO_3^- nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

As concentrações do anião **bicarbonato** nos diferentes pontos, ao longo do período de monitorização, sofreram algumas oscilações, à excepção das concentrações registadas no ponto P10 que se mantiveram relativamente constantes.

Num total de 34 amostras, aproximadamente 65% apresentou águas com concentrações de bicarbonato compreendidas entre 3,8 mg/l e 15,3 mg/l. Dasquelas amostras, 32% possui valores de HCO_3^- entre 15,3 mg/l e 30,5 mg/l. Concentrações superiores a 30,5 mg/l foram registadas em 3% das águas.

Os pontos que evidenciam as concentrações de HCO_3^- mais **elevadas** são o **P11**, o **P10** e o **P1**, por ordem decrescente de valores. O ponto **P6** é, por sua vez, o que apresenta o **teor mais baixo** deste anião, fazendo-se seguir do ponto **P5**.

Observando o gráfico 83, verifica-se que da 1ª para a 2ª campanha ocorreu na maioria dos pontos, excepto nos pontos P3, P6 e P11, uma aumento nos teores de bicarbonato. No entanto, da 2ª para a 3ª campanha esses valores sofrem uma descida significativa, alcançando teores inferiores aos da 1ª e 2ª campanhas. Esta descida não se verificou nos pontos P11 e P12. No primeiro, as concentrações mantiveram-se constantes, enquanto que no segundo subiram.

No que diz respeito ao **cloreto**, nenhuma das amostras apresentou concentrações superiores ao VP de 250 mg/l. Do total de amostras, 53% dizem respeito a águas com concentrações inferiores a 8,75 mg/l e 24% correspondem a águas com teores entre 8,75 mg/l e 17,5 mg/l. Apenas duas amostras (6%) possuem valores compreendidos entre 17,5 mg/l e 35 mg/l. As restantes amostras (17%) exibem concentrações superiores a 35 mg/l (P3, P7 e P12). Deste modo, os pontos com as concentrações **mais elevadas** são o **P3** e o **P12**, com médias respectivas de 187 mg/l e 161 mg/l. O **P2** e o **P5** são os que possuem as águas com teores de Cl^- **mais baixas** (médias de 5,1 mg/l e 5,5 mg/l, respectivamente).

Os pontos **P3**, **P7** e **P12** foram os que evidenciaram **maiores oscilações** nos teores de cloreto ao longo das três campanhas, mantendo-se estes sensivelmente constantes nos restantes pontos. Tais variações podem-se dever, no caso dos pontos P3 e P12, às influencias da lixeira e, no caso do ponto P7, à influencia da actividade agrícola desenvolvida na área envolvente, ou mesmo do saneamento da habitação mais próxima.

Os teores de **nitrato** em alguns dos pontos de monitorização revelaram-se algo elevados. Assim, em todas as campanhas efectuadas nos pontos P3 e P12 as concentrações de NO_3^- ultrapassaram o VP, o que corresponde em termos estatísticos a 18% do número total das amostras. Deste modo, cerca de 44% revelou valores inferiores a 3,87 mg/l e 24% apresentou teores entre 3,87 mg/l e 15,5 mg/l. Uma percentagem mais pequena, 17%, apresentou valores ligeiramente superiores, entre 15,5 mg/l e 31 mg/l e 15% superiores a 31 mg/l.

Os pontos com as águas **mais ricas em nitratos** são o **P3**, com uma concentração média de 77 mg/l e o **P12** com média de 64 mg/l. Também com teores algo elevados destacam-se os pontos **P7** e **P9**. O ponto P7, tal como já referido, poderá estar influenciado pela actividade agrícola e, no caso do ponto P9, como é um caso pontual, poderá sofrer a influência por fossa nas proximidades. As concentrações **mais baixas** foram registadas no ponto **P6**, seguido pelos pontos **P2** e **P5** (médias de 0,5 mg/l, 0,9 mg/l e 1 mg/l, respectivamente).

Relativamente ao anião que surge em concentrações inferiores, o **sulfato**, verifica-se que, tal como o Cl^- e o HCO_3^- , também não se apresenta em teores superiores ao VP (250 mg/l) do Decreto de lei n.º 243/01 de 5 de Setembro. Do total das amostras, mais de metade (76%) apresentou concentrações de SO_4^{2-} inferiores a 3 mg/l. Concentrações entre 3 mg/l e 6 mg/l foram registadas em 9% das amostras recolhidas. Uma pequena percentagem, 15%, exibiu valores superiores a 12 mg/l.

Os pontos que evidenciaram **maiores oscilações** nas concentrações de SO_4^{2-} foram os pontos **P1**, **P7** e **P11**.

Tal como o verificado para o anião NO_3^- , também aqui os pontos **P3** e **P12** são os que revelam as concentrações de SO_4^{2-} **mais elevadas**. De modo semelhante, os teores **mais baixos** também ocorrem nos pontos **P6** e **P5** (médias respectivas de 0,5 mg/l e 0,6 mg/l).

Após esta análise constata-se que os pontos **P3** e **P12** foram os que apresentaram as concentrações de Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} mais altas ao longo de todo o período de monitorização. Por outro lado, os pontos **P6** e **P5** foram os que revelaram as concentrações mais baixas. Estes dados vêm dar maior consistência à possibilidade dos pontos P3 e P12 estarem sob uma influência mais directa da lixeira, devido à sua proximidade com um sistema de falhas aí instalado (N30°E) e que poderá possivelmente

transportar águas contaminadas, ao contrário dos pontos P6 e P5, que devido à sua maior distância da lixeira e da fractura a ela adjacente, revelaram quase sempre baixos teores de aniões.

Das correlações estabelecidas entre os aniões e entre estes e a condutividade eléctrica distinguem-se os resultados obtidos para o Cl^- e para o NO_3^- . Estes aniões evidenciaram uma boa relação entre si (Gráficos 85, 86 e 87) e com a condutividade eléctrica (Gráficos 88 e 89).

No gráfico 85, referente à correlação entre o cloreto e o nitrato, destaca-se a existência de dois grupos de amostras. Um primeiro grupo, constituído por cinco amostras, relativas aos pontos P3 e P12, com teores de Cl^- e NO_3^- mais elevadas e, um segundo grupo, composto por amostras de água com concentrações inferiores. Neste último grupo é evidente uma maior dispersão de valores.

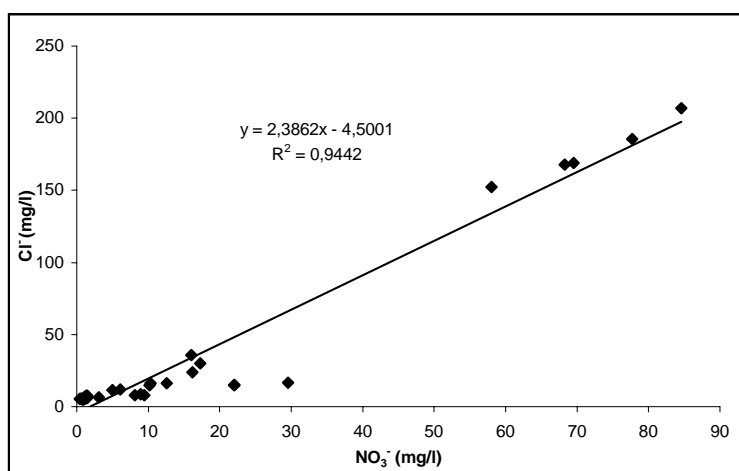


Gráfico 85 - Diagrama de dispersão da concentração de Cl^- em função da concentração de NO_3^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas).

Com vista a analisar mais pormenorizadamente a relação entre o cloreto e o nitrato nas águas dos pontos que compõem o segundo grupo, onde a dispersão de valores se revelou mais acentuada, elaborou-se um diagrama apenas com os valores relativos a este grupo (Gráfico 86). Verifica-se que a relação entre os dois iões se mantém significativa, no entanto, destacam-se cinco amostras onde essa relação parece mais fraca. Essas amostras dizem respeito aos pontos P7 e P9.

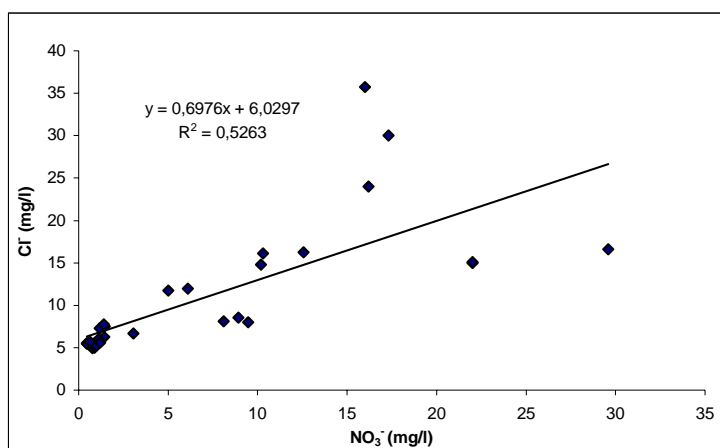


Gráfico 86 - Diagrama de dispersão da concentração de Cl^- em função da concentração de NO_3^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P3 e P12).

Os resultados obtidos parecem sugerir que o Cl^- e o NO_3^- presentes nos pontos de água da Povoação da Quintã, à excepção de P7 e P9, têm uma origem comum. Esses iões podem resultar do processo de decomposição dos resíduos acumulados na lixeira, pelo que, os pontos P3 e P12, dada a sua proximidade à mesma, apresentam as concentrações mais elevadas e, os restantes pontos, localizados a maior distância do local, parecem beneficiar de possíveis processos de atenuação, motivo pelo qual apresentam teores de Cl^- e NO_3^- inferiores. Os pontos P7 e P9, devido à maior dispersão de valores que evidenciam no gráfico 86, parecem ser os que menos sofrem influência da lixeira, o que reforça a ideia da composição química das suas águas estar influenciada em maior grau pela actividade agrícola ou pela proximidade de eventuais fossas sépticas. Deste modo, quando analisada a relação entre o Cl^- e NO_3^- nos restantes pontos, excluindo o P7 e o P9, verifica-se que esta se revela mais forte, como é evidente no gráfico 87.

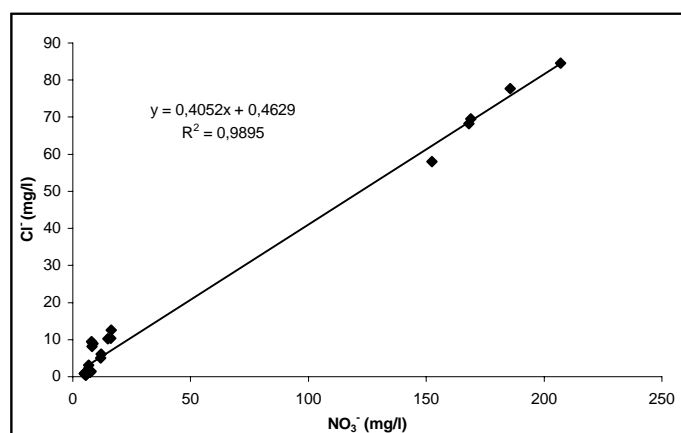


Gráfico 87 – Diagrama de dispersão da concentração de Cl^- em função da concentração de NO_3^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados as três campanhas, excepto dos pontos P7 e P9).

O iões Cl^- e NO_3^- parecem ser também os principais responsáveis pela mineralização das águas em geral, uma vez que apresentam uma boa correlação com a condutividade eléctrica (Gráficos 88 e 89). Continua a ser evidente a presença dos dois grupos referidos anteriormente, o que serve de reforço às hipóteses colocadas.

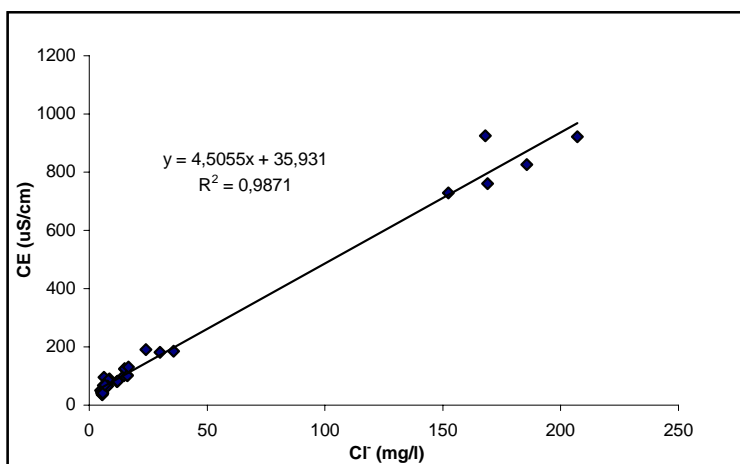


Gráfico 88- Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de Cl^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas).

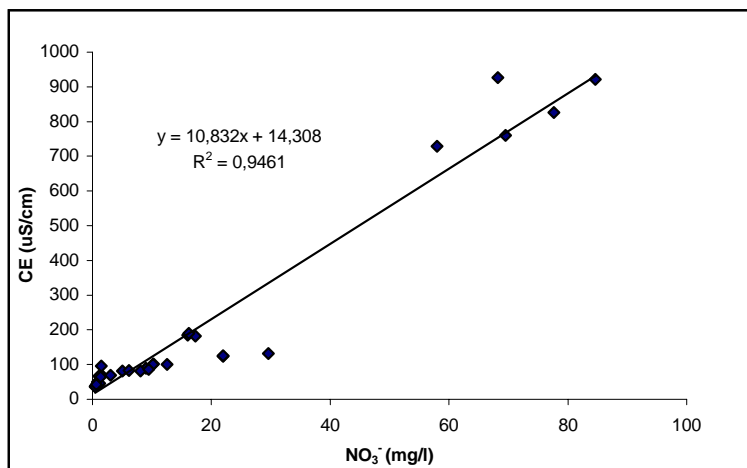


Gráfico 89 - Diagrama de dispersão da condutividade eléctrica em função da concentração de NO_3^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas).

B - Catiões

As concentrações dos catiões Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe registadas nos pontos de monitorização nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso são apresentadas nos gráficos 90, 91, 92, 93 e 94.

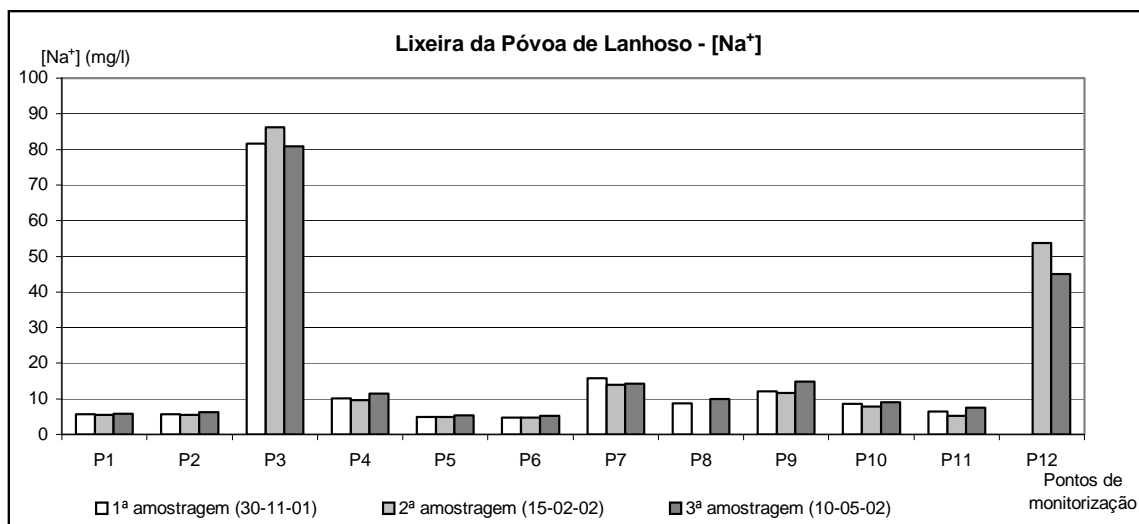


Gráfico 90 – Concentração de Na^+ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

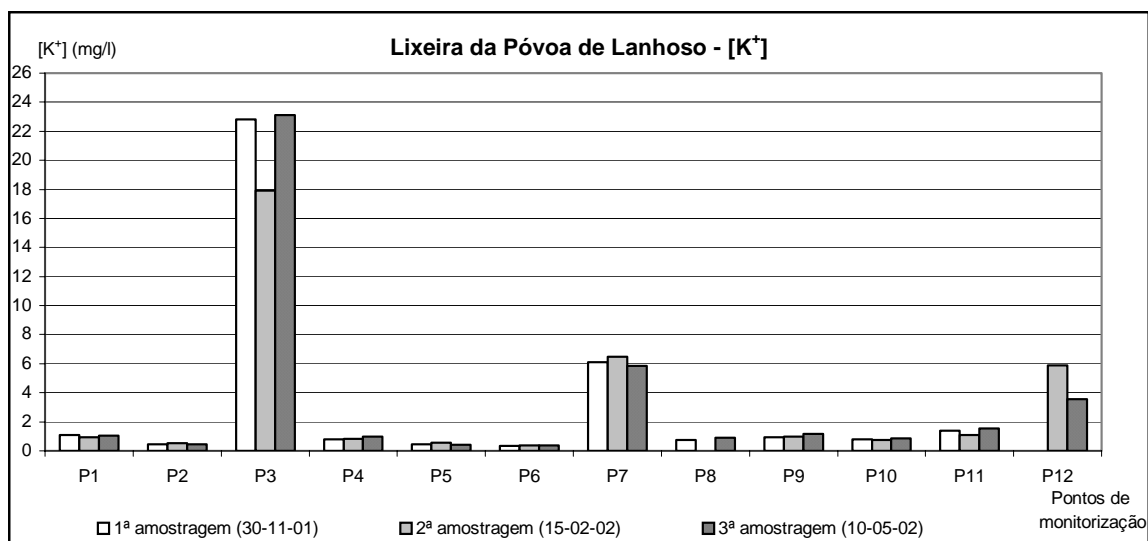


Gráfico 91 – Concentração de K^+ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

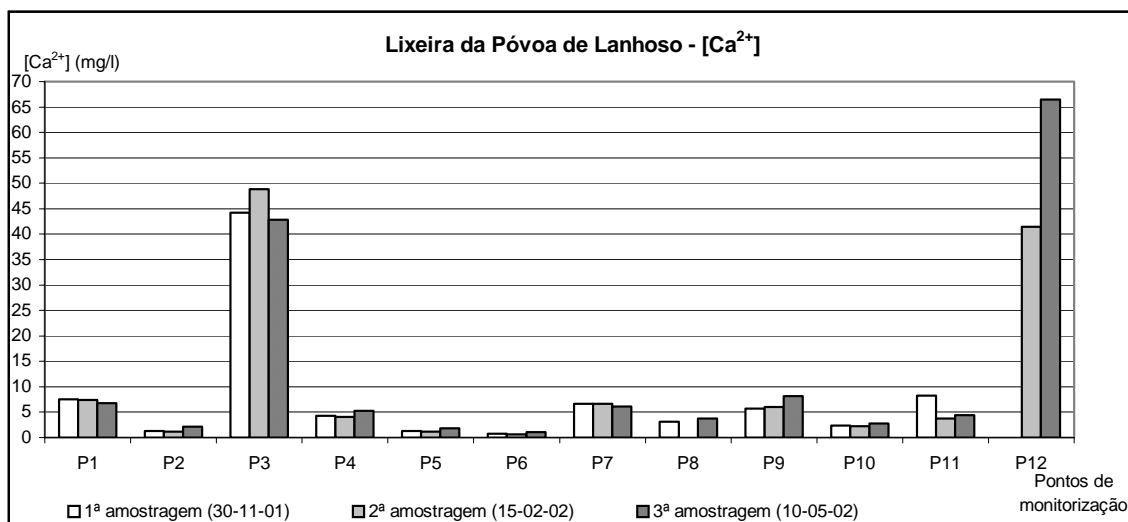
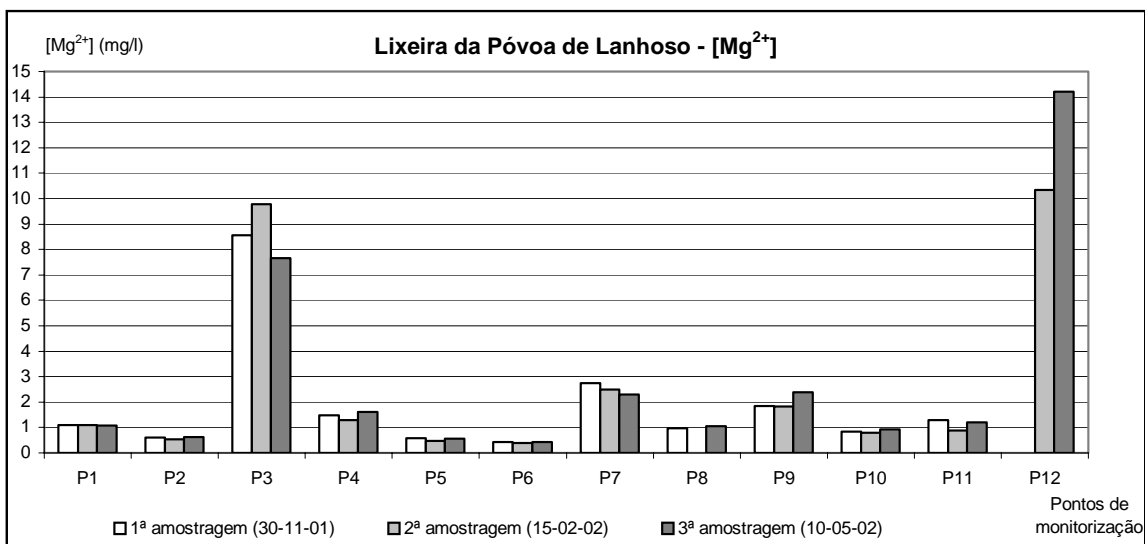
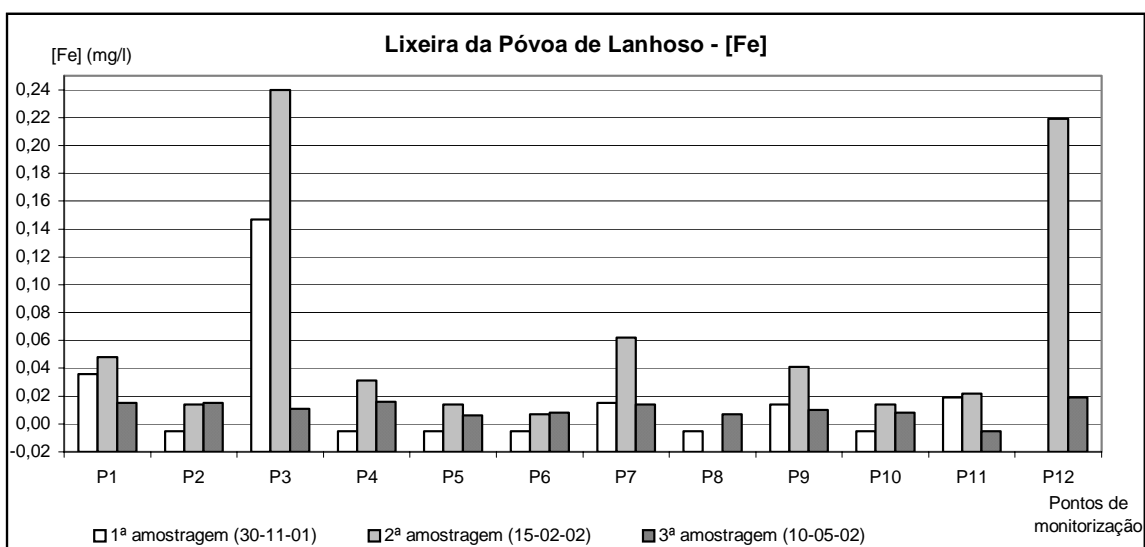
Gráfico 92 – Concentração de Ca²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.Gráfico 93 – Concentração de Mg²⁺ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Gráfico 94 – Concentração de Fe nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Após análise dos dados dos catiões, verifica-se que o catião presente em **maiores concentrações** é o Na^+ . Os seus teores ao longo das três campanhas oscilaram entre valores médios de 15 mg/l e 19 mg/l. O Ca^{2+} é o segundo catião mais abundante, seguindo-se o Mg^{2+} e o K^+ . O Fe ocupa o último lugar, dado que se encontra nas águas em menores concentrações que os catiões anteriores.

Efectuando um breve estudo das variações dos teores destes catiões ao longo da monitorização, constata-se que **da 1ª para a 2ª campanha** ocorreu uma descida nos valores dos iões sódio, cálcio e magnésio em todos os pontos de água, à excepção do ponto P3, onde se registou uma subida. Esta descida também se verificou relativamente ao potássio, no entanto, os pontos P5 e P6 constituem a excepção.

A contrariar este comportamento generalizado da 1ª para a 2ª campanha, as concentrações do catião ferro em todos os pontos de monitorização evidenciaram uma subida e não uma descida.

No que diz respeito aos pontos P8 e P12 não foi possível verificar se esta variação ocorreu uma vez que alguns dos valores relativos a estas campanhas não foram registados por motivos anteriormente referidos.

Da **2ª para a 3ª campanha** a concentração dos catiões sódio, cálcio, magnésio e potássio voltaram a subir, embora este comportamento não seja tão consensual para todos os pontos, como se verificou na transição da 1ª para a 2ª campanha. Assim, as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} subiram, de um modo geral, em todos os pontos. Esta subida, no que diz respeito ao sódio, também não se verificou no ponto P12 e, relativamente ao cálcio, não ocorreu no ponto P7. Os teores de potássio acompanharam esta subida, constituindo excepção os pontos P5 e P12, cujas concentrações descenderam, e o ponto P6 que manteve as concentrações. Tal como aconteceu na transição da 1ª para a 2ª campanha, onde os teores do ferro evidenciaram comportamento contrário ao dos restantes catiões, também da 2ª para a 3ª campanha se verifica esse comportamento. Ao contrário da subida generalizada que se verificou relativamente às concentrações dos restantes catiões, o ião Fe na maioria dos pontos de monitorização diminuiu (à excepção do ponto P2, onde os valores de ferro subiram ligeiramente, e o ponto P6 onde não se registou qualquer alteração).

Dado que a 2ª campanha não foi efectuada no ponto P8 não foi possível verificar se nas águas deste ponto também se verificaram estas oscilações.

Através da análise do gráfico 90, verifica-se que os pontos **P3** e **P12** apresentaram em todas as campanhas teores de Na^{2+} bastante superiores aos dos restantes pontos, não atingindo, no entanto, o VP proposto no Decreto de lei n.º 243/01 de 5 de Setembro (200 mg/l). Os referidos pontos apresentam concentrações compreendidas sensivelmente entre 46 mg/l e 92 mg/l, representando, em termos estatísticos, 18% do total das amostras. Os pontos **P3** e **P12** são os que apresentaram os teores médios mais **elevados** deste catião. As restantes amostras evidenciaram concentrações inferiores. Assim, aproximadamente 32% das amostras apresentou concentrações compreendidas entre 2,8 mg/l e 5,75 mg/l. Oito amostras, 24%, exibem teores de sódio entre 11,5 mg/l e 23 mg/l. Os pontos onde as concentrações de sódio se revelaram mais **baixas** são o **P6** e o **P5**.

No que diz respeito ao **potássio** (Gráfico 91), o ponto P3, em comparação com os restantes pontos, exibe teores mais elevados, quase sempre superiores a 19,5 mg/l. As suas amostras representam 9% do número total. O ponto **P3** foi onde se registaram as concentrações mais **elevadas** (média de 21 mg/l).

Aproximadamente 76% das amostras possui concentrações inferiores a 2,43 mg/l e 1,52 mg/l e 15% apresenta valores entre 2,43 mg/l e 9,75 mg/l.

Os pontos com as concentrações de magnésio mais **baixas** são os pontos **P6**, com média de 0,38 mg/l, e os pontos **P2** e **P5**, ambos com média de 0,48 mg/l.

Relativamente ao **cálcio** (Gráfico 92), constata-se que praticamente todas as águas apresentam baixas concentrações, quando comparadas com os valores referidos por Reimann e Caritat (1998) para as águas subterrâneas (2,17 mg/l). Mais de metade das amostras, cerca de 53%, possui concentrações compreendidas entre 2,5 mg/l e 10 mg/l. Uma percentagem mais pequena, 32%, apresentou teores inferiores a 2,5 mg/l, enquanto que as restantes 15% evidenciaram teores significativamente mais elevados, superiores a 40 mg/l.

Os pontos que apresentaram as concentrações médias mais **baixas** foram o **P6**, **P5** e **P2**, com médias respectivas de 0,82 mg/l, 1,44 mg/l e 1,50 mg/l. Por outro lado, os pontos **P3** e **P12** foram os que manifestaram teores mais **elevados** de cálcio (concentrações médias de 44 mg/l e 54 mg/l).

No que concerne ao **magnésio** (Gráfico 93), aproximadamente 65% das amostras possui concentrações inferiores a 1,5 mg/l; 23% apresenta concentrações entre 1,5 mg/l e 6 mg/l. Um menor número de amostras (12%) apresentou concentrações superiores a 6 mg/l, raramente ultrapassando os 12 mg/l. Esta percentagem diz respeito a duas amostras do ponto **P12** e a uma do ponto **P3**. Estes são, assim, os pontos que evidenciam as concentrações mais **elevadas** de Mg^{2+} (médias de 12 mg/l e 9 mg/l, respectivamente). Os pontos **P6** e **P5** são, por sua vez, os que revelaram os teores mais **baixos** (médias respectivas de 0,42 mg/l e 0,53 mg/l).

No caso do **ferro** (Gráfico 94), este surge na maioria das amostras de água em concentrações aceitáveis para as águas de consumo. No entanto, os seus teores nos pontos P3 e P12 ultrapassam ligeiramente, na 2ª campanha, o VP (0,2 mg/l). Deste modo, 94% das amostras apresenta concentrações aceitáveis para as águas de consumo, enquanto 6% excede os teores considerados admissíveis.

Os pontos **P3** e **P12** possuem as concentrações médias mais **elevadas**. Por sua vez, os pontos **P6** e **P5** são, mais uma vez, os que revelam as concentrações mais **baixas**.

Verifica-se que os pontos **P3** e **P12** apresentam as concentrações mais elevadas de catiões. O ponto **P7**, embora em menor escala, apresenta também teores consideráveis. Os pontos que revelaram as concentrações mais baixas de catiões foram os pontos **P6** e **P5**. Esta situação está de acordo com o constatado para os aniões.

Averiguando possíveis correlações entre os catiões, destaca-se os resultados obtidos entre os iões Na^+ e Mg^{2+} e os iões K^+ e Ca^{2+} .

No primeiro caso (Gráfico 95), a relação verificada é mais evidente para o grupo de amostras com concentrações de sódio e magnésio inferiores, correspondendo as restantes amostras, onde a correlação não parece ser tão significativa, às três campanhas efectuadas no ponto P3 e a uma do ponto P12. Deste modo, quando eliminados os valores relativos a estes dois pontos, a relação entre o Na^+ e o Mg^{2+} torna-se mais forte (Gráfico 96).

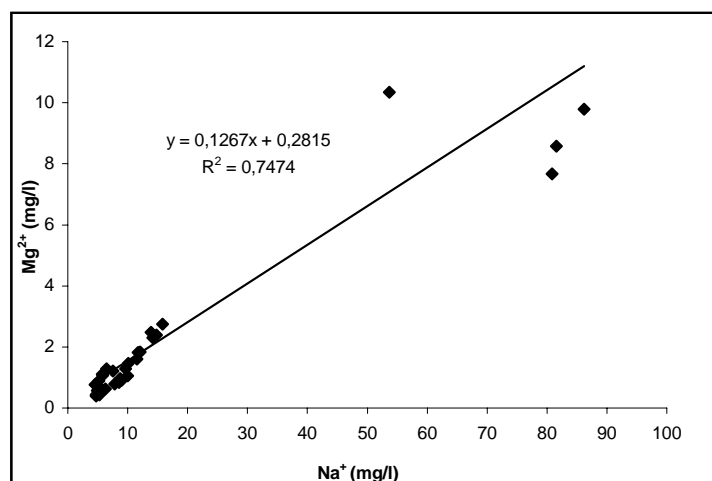


Gráfico 95 – Diagrama de dispersão da concentração de Mg^{2+} em função da concentração de Na^+ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas).

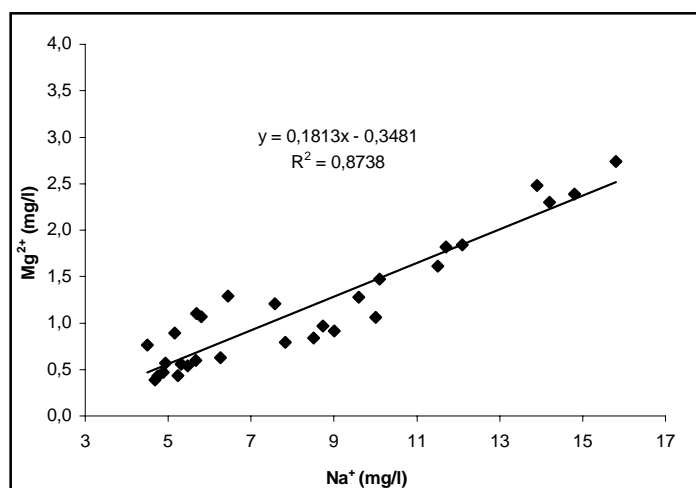


Gráfico 96 – Diagrama de dispersão da concentração de Mg^{2+} em função da concentração de Na^+ na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P3 e P12).

No que diz respeito ao par K^+/Ca^{2+} (Gráfico 97) é visível que a correlação entre eles não é muito significativa quando estão incluídas na análise as amostras de água com elevadas concentrações (amostras relativas aos pontos P3, P7 e P12). No entanto, quando estas são retiradas, a relação entre esses catiões torna-se mais evidente (Gráfico 98).

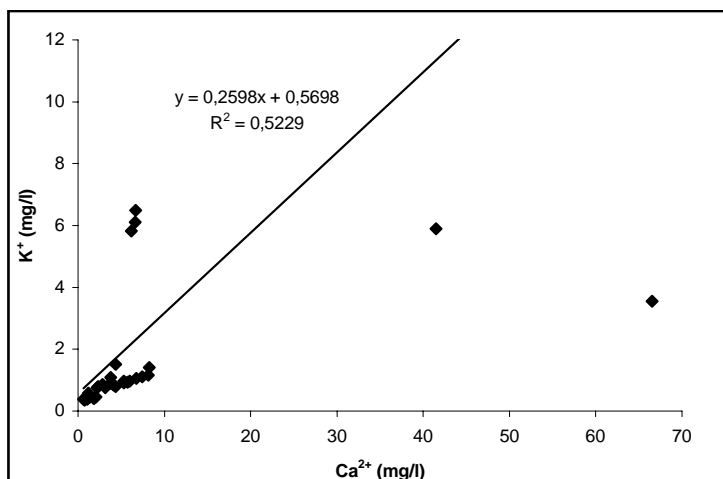


Gráfico 97 – Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Ca^{2+} na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas).

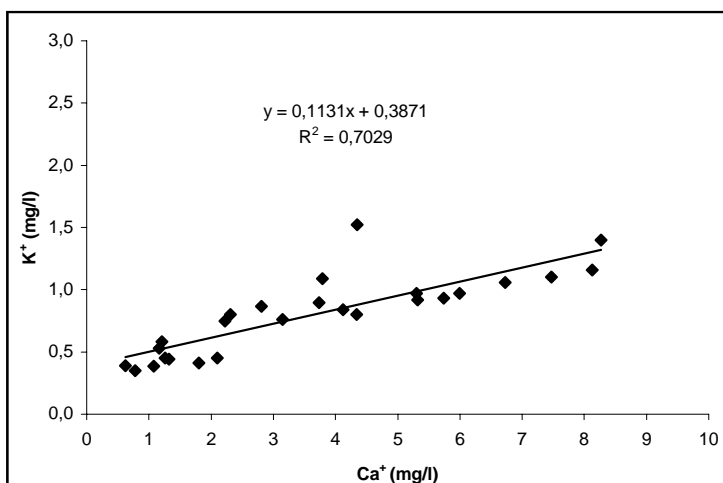


Gráfico 98 – Diagrama de dispersão da concentração de K^+ em função da concentração de Ca^{2+} na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excluindo os pontos P3, P7 e P12).

Os catiões Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} evidenciaram também uma boa relação com os valores da condutividade ($r^2=0,9587$, $r^2=0,8827$ e $r^2=0,9178$, respectivamente), continuando a distinguir-se um grupo relativo às campanhas dos pontos P3 e P12 e outro grupo correspondente às restantes campanhas.

C – Aniões/Catiões

Nas campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso, os pares de iões Na^+/Cl^- , $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ e $\text{Mg}^{2+}/\text{NO}_3^-$ revelaram boas correlações entre si. Também aqui se distinguem os dois grupos de amostras referidos anteriormente.

Relativamente ao par Na^+/Cl^- , excluindo os valores mais elevados dos pontos P3, P7 e P12, verifica-se que o valor da inclinação da recta obtida nesse diagrama (0,6075) (Gráfico 99) é muito próximo da relação existente entre os iões Na^+ e Cl^- presentes no vulgar sal de cozinha (0,64). Tal, sugere que estes dois iões poderão ter origem no sal contido nos resíduos depositados na lixeira.

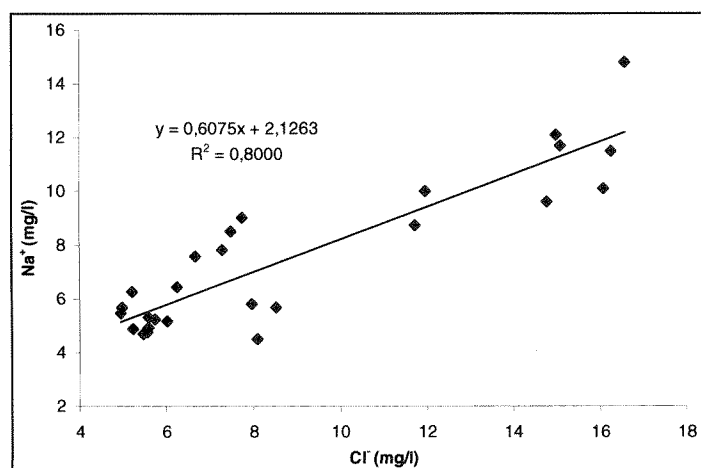


Gráfico 99 – Diagrama de dispersão da concentração de Na^+ em função da concentração de Cl^- na Lixeira da Póvoa de Lanhoso (dados das três campanhas, excepto dos pontos P3, P7 e P12).

D - Sílica

Analisando o gráfico 100, onde são apresentadas as concentrações de sílica registadas nos pontos de água da Lixeira da Póvoa de Lanhoso nas três campanhas efectuadas, verifica-se que o teor de sílica da **1ª para a 2ª campanha** diminui em todos os pontos. No entanto, na **3ª campanha** as concentrações subiram novamente, atingindo valores superiores aos que haviam sido registados nas outras campanhas.

Tal como ocorreu em análises anteriores, não é possível averiguar se este comportamento se verificou nos pontos P8 e P12, dada a ausência de registos nestes pontos.

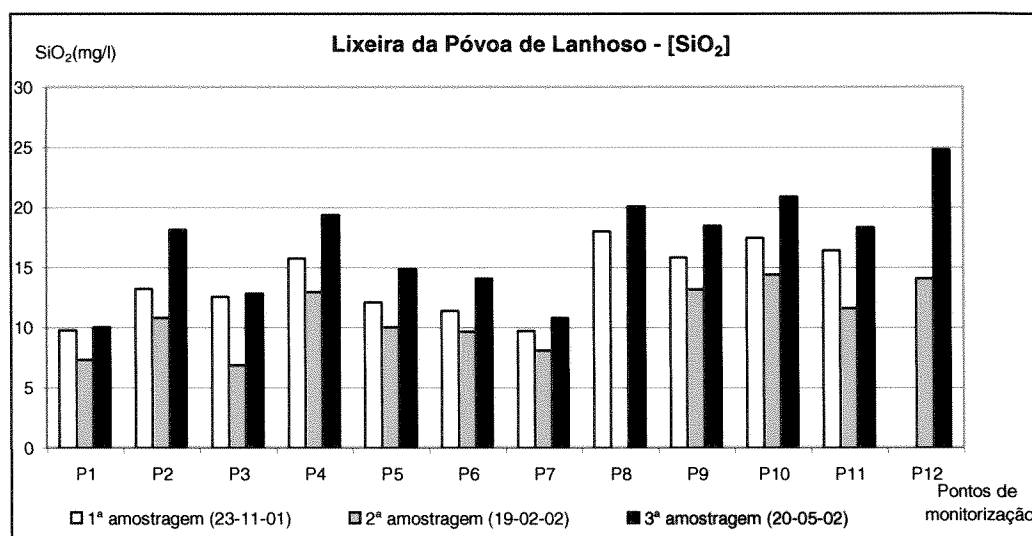


Gráfico 100 – Concentração de SiO₂ nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Os pontos **P12** e **P8** foram os que evidenciaram concentrações médias de sílica **mais elevadas**, respectivamente 19,4 mg/l e 19,1 mg/l. Seguem-se, com teores médios de 17,6 mg/l, os pontos P10 e P4. Pelo contrário, os pontos **P1** e **P7** foram os que apresentaram os teores de sílica **mais baixos** (médias de 9,0 mg/l e 9,5 mg/l).

As concentrações de sílica presentes nas amostras de água não apresentam qualquer relação com a condutividade, nem com qualquer outro parâmetro, pelo que o contributo dado pelo contacto água/rocha para a composição química das águas não é significativo na área da Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

E - lões menores

Algumas das amostras de água recolhidas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso, como se constata pela observação do gráfico 101, revelaram teores de **manganês** acima do VP (50 ppb). No entanto, a maioria evidencia concentrações abaixo desse valor.

Os pontos **P3** e **P7** revelaram teores algo **elevados**. O ponto P3 apresentou, em todas as campanhas, águas com teores de manganésio superior a 50 ppb e, o ponto P7, excedeu esse valor na 1ª campanha.

Deste modo, pode-se concluir, no que diz respeito ao manganês, que aproximadamente 12% do número total de amostras ultrapassou o VP. As restantes amostras, 88%, evidenciaram teores inferiores a 26,8 ppb.

O ponto **P3** foi o que apresentou os valores mais **elevados**, com uma concentração média de 134 ppb. Seguem-se, por ordem decrescente de concentrações médias, os pontos **P7**, **P12**, **P11** e **P1**. As concentrações de manganês mais **baixas** foram registadas nos pontos **P8** e **P10**.

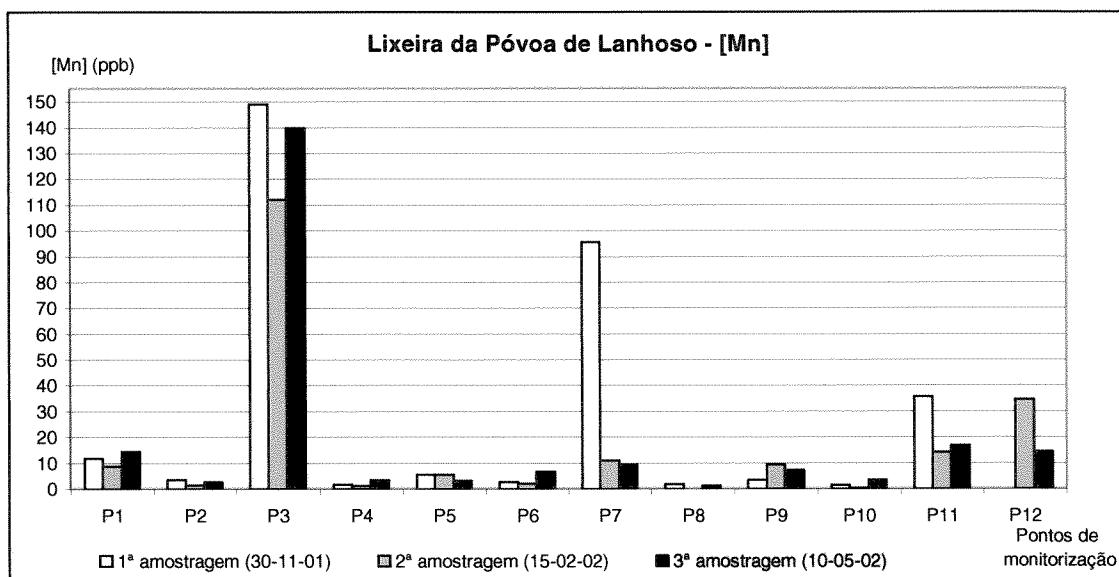


Gráfico 101 – Concentração de Mn nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

O **alumínio** não está presente nas águas da Lixeira da Póvoa de Lanhoso em concentrações superiores ao VP (200 ppb), contudo, são notórios valores acima dos considerados normais para as águas subterrâneas (12 ppb) (Reimann e Caritat, 1998). A sua concentração nos diferentes pontos de monitorização encontra-se representada no gráfico 102.

Os pontos com os teores de alumínio mais **elevados** são o **P3** (média de 75 ppb), o **P12** (média de 54 ppb) e o **P7** (média de 47 ppb). Por sua vez, os pontos **P4** e **P10** são os que apresentam os teores mais **baixos** (médias respectivas de 10 ppb e 6 ppb).

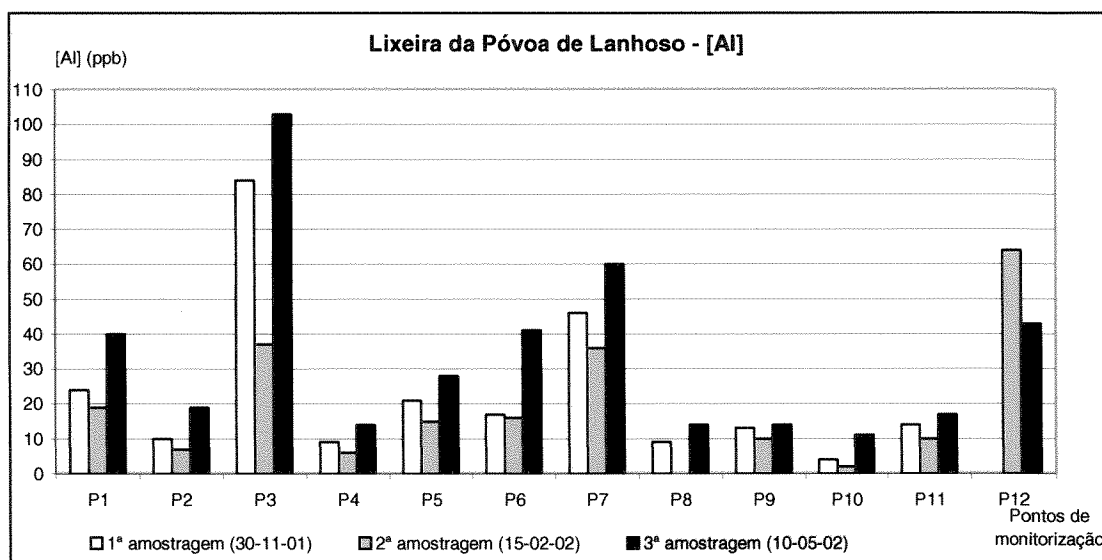


Gráfico 102 – Concentração de Al nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

F – Elementos traço

As amostras de água dos pontos de monitorização da Lixeira da Póvoa de Lanhoso evidenciaram apenas a presença de um elemento traço – o **cobre** - em concentrações superiores ao VP (2 ppb). O gráfico 103 apresenta as concentrações deste elemento nos diferentes pontos de monitorização.

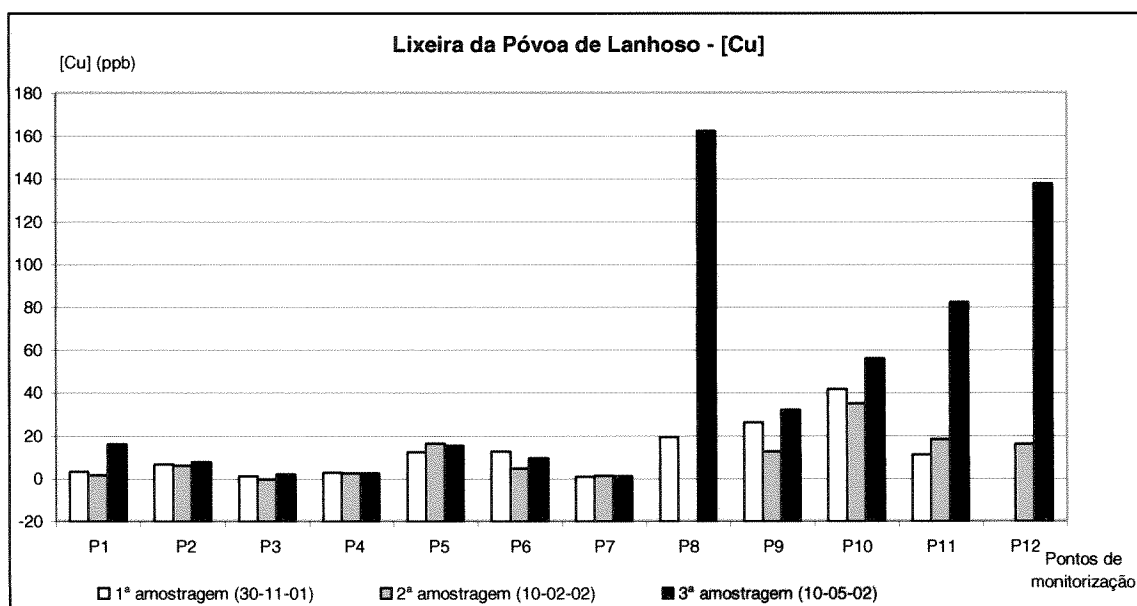


Gráfico 103 – Concentração de Cu nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

Do total das 34 amostras, apenas 6 (18%) não ultrapassam o VP. As restantes amostras, 82%, apresentam concentrações superiores a esse valor, passando os 125 ppb.

Os pontos **P8**, **P12**, **P10** e **P11** são os que apresentam as concentrações médias mais **elevadas**, enquanto que os pontos **P3**, **P7** e **P4** apresentam os teores mais **baixos**.

Para além do cobre, alguns dos pontos apresentaram teores de zinco e bário algo elevados para os valores característicos das águas subterrâneas (23 ppb e 16 ppb, respectivamente) (Reimann e Caritat, 1998). Essas concentrações encontram-se representadas nos gráficos 104 e 105.

No que diz respeito ao **zinco**, verifica-se que as concentrações mais **elevadas** foram registadas nos pontos **P5**, **P8** e **P12**, com médias respectivas de 91 ppb, 209 ppb e 1402 ppb. Pelo contrário, os pontos **P6** e **P7** foram os que exibirem os valores mais **baixos** (médias de 9,2 ppb e 5,6 ppb, respectivamente).

O **bário**, que segundo Reimann e Caritat (1998), surge nas águas subterrâneas em teores de aproximadamente 16 ppb, está presente nos pontos **P3**, **P12** e **P7** em concentrações bastantes superiores. As concentrações médias de bário nestes pontos são, respectivamente, 317 ppb, 49 ppb e 31 ppb.

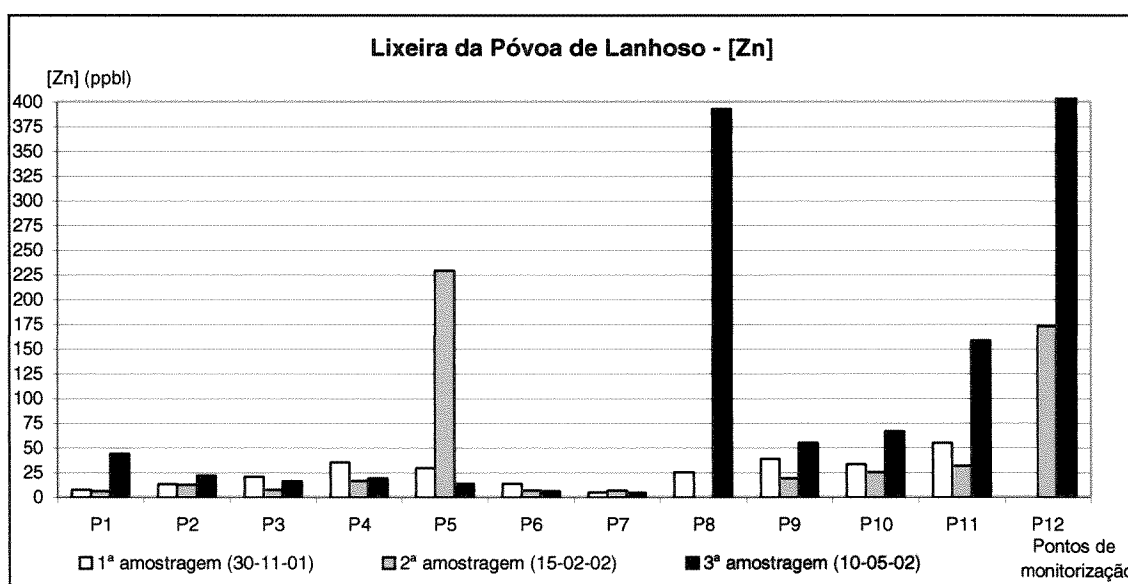


Gráfico 104 – Concentração de Zn nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

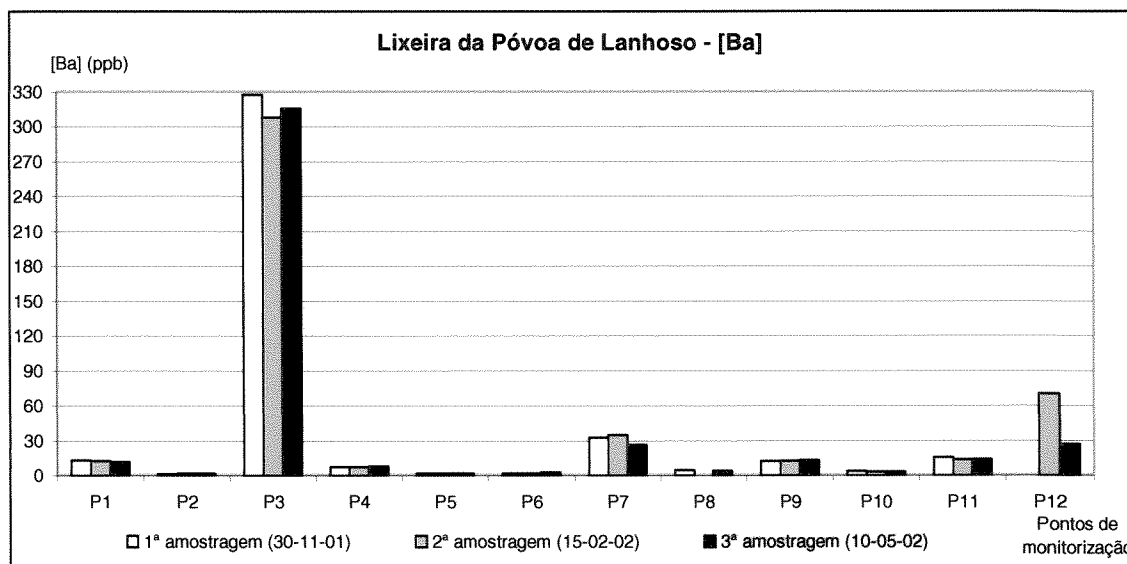


Gráfico 105 – Concentração de Ba nas três campanhas efectuadas na Lixeira da Póvoa de Lanhoso.

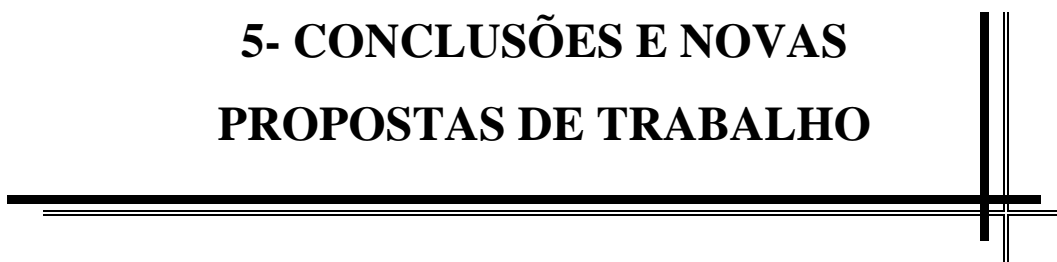
4.4.3 - SÍNTESE

Os pontos inventariados nas proximidades da Lixeira da Póvoa de Lanhoso apresentaram águas com condutividades médias compreendidas entre 38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 184 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Destacam-se, contudo, dois pontos, **P3** e **P12**, onde as condutividades médias se revelaram superiores (854 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 721 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). Estes dois pontos foram os que evidenciaram uma maior influência da lixeira sobre a composição química das suas águas, pelo que apresentaram quase sempre os teores, quer de catiões, quer de aniões, mais elevados. Tal pareceu dever-se à sua próxima localização da lixeira e do sistema de falhas aí instalado.

Os pontos **P5** e **P6** foram os que apresentaram os valores de condutividade, aniões e catiões mais baixos, o que nos sugere que sejam os pontos com as águas menos influenciadas pelos processos de decomposição que ocorrem na lixeira.

Relativamente aos pontos **P7** e **P9**, os dados analisados pareceram advertir para uma eventual susceptibilidade das suas águas às actividades agrícolas e domésticas que têm lugar nas suas proximidades. A lixeira, dada a sua maior distância relativamente a estes pontos, parece não exercer influência sobre os mesmos.

5- CONCLUSÕES E NOVAS PROPOSTAS DE TRABALHO



5 – CONCLUSÕES E NOVAS PROPOSTAS DE TRABALHO

A análise e interpretação de dados relacionados com processos de Evolução Hidroquímica constituem por si só uma árdua tarefa, visto que há que ter em conta um sem número de factores e variáveis de diferentes naturezas e proporções. Deste modo, apresentamos de seguida a visão particular com que ficamos sobre a Evolução Hidroquímica no Aterro Sanitário da Braval e nas Lixeiras de Braga e Póvoa de Lanhoso e o grau de influência dos depósitos de resíduos sólidos em cada uma dessas áreas, sem nunca perder a noção que a informação recolhida diz respeito a um período de monitorização bastante curto para se chegar a conclusões determinantes.

O **Aterro Sanitário da Braval**, no momento da realização do presente trabalho, apresentou alguns indícios de alteração química das águas subterrâneas, sobretudo na zona Sul da área estudada atendendo aos valores registados nos piezómetros P11 e P1. No entanto, os dados obtidos não permitem relacionar directamente esta evolução hidroquímica com a presença da célula de deposição de resíduos, devido à existência de outras estruturas, como as lagoas de armazenamento e tratamento de lixiviados, que segundo informações fornecidas aquando da realização do presente trabalho, se encontravam a libertar parte do seu conteúdo para o ponto P11 devido aos danos existentes na caixa de armazenamento deste piezómetro.

Assim, os dados obtidos, conjugados com a informação recolhida no local, sugerem que as situações de degradação da qualidade da água observadas poderão não estar relacionadas com a infiltração de lixiviado no solo a partir das infra-estruturas existentes, nomeadamente a célula de deposição de resíduos e as lagoas de armazenamento e tratamento de lixiviado, mas sim com episódios de infiltração de águas superficiais, que arrastam os elementos que se acumularam no solo como consequência da fraca capacidade de funcionamento dos piezómetros.

Nesta área de estudo verificaram-se duas situações que merecem especial atenção. A primeira ocorre em torno do ponto P4, que parece estar a condicionar a qualidade da água de P3. A segunda situação, relacionada com P11 e P1, revela indícios das águas contaminadas provenientes das lagoas de lixiviado que entraram em P11 estarem a afectar P1.

Dada esta situação, e uma vez que os principais problemas de contaminação nos pareceram estar relacionados com a fraca eficácia de funcionamento dos piezómetros, seria conveniente que estes fossem dotados de dispositivos de melhor protecção.

Apesar dos problemas detectados, ao longo do período de monitorização, a evolução hidroquímica no ASB demonstrou tendência para evoluir para uma situação de estabilização.

No que diz respeito à **Lixeira de Braga**, verificámos que os pontos localizados no interior da sua vedação e os pontos da povoação de Paço situados imediatamente abaixo da lixeira foram os que exibiram águas com maior degradação química. Pareceu-nos que estas águas ainda se encontram a atravessar um processo evolutivo, distante do estado de equilíbrio, tendo em consideração, essencialmente, as oscilações verificadas nos pontos P1, P2, P3 e P7.

Dada a ausência de qualquer outro tipo de estruturas, a degradação dos resíduos acumulados na lixeira parece-nos ter sido a principal causa de contaminação das águas. A decomposição dos resíduos levou possivelmente à produção de lixiviados que com a percolação de águas de infiltração podem ter atingido as águas subterrâneas.

Através da medição da profundidade do nível freático nos diferentes pontos de monitorização verificámos que o nível freático se encontrava muito próximo da base da lixeira, especialmente nos pontos P2 e P3, podendo assim, o nível freático ter entrado em contacto com a massa de resíduos nos momentos de precipitação mais intensa e/ou prolongada, o que poderá ter contribuído para a deterioração das águas.

Deste modo, a exploração da lixeira sem qualquer controle durante vários anos, e a conseqüente produção de lixiviados, bem como a subida sazonal do nível freático acima da base da lixeira, parecem ser a principal origem de contaminação.

Na **Lixeira da Póvoa de Lanhoso**, em comparação com a Lixeira de Braga, a alteração hidroquímica por influência da acumulação de resíduos sólidos parece ter sido menor, sem desprezar o facto da primeira apresentar uma área total bastante inferior e ter recebido, ao longo do seu período de funcionamento, uma fracção de resíduos muito menor. No entanto, a deterioração química das águas foi detectada essencialmente nos pontos P3 e P12, os quais estão localizados no alinhamento de fracturas identificadas na zona, com orientação aproximada NE-SW, e ao longo do qual se efectua o escoamento subterrâneo da área em estudo e onde assenta parte da lixeira. Nos restantes pontos de

água não nos pareceu haver uma influência significativa da lixeira, à excepção dos pontos P7, no qual os dados obtidos não nos permitiram concluir se a evolução hidroquímica por ele apresentada estava relacionada com os processos de contaminação resultantes da lixeira ou com a actividade agro-pecuária realizada nas suas proximidades.

Com o presente trabalho pensamos ter dado mais um pequeno contributo para o conhecimento dos processos de evolução hidroquímica em áreas adjacentes a aterros sanitários e lixeiras. No entanto, muito mais há para investigar e muitas outras metodologias para colocar em prática, com vista a verificar a consistência de algumas das ilações aqui extraídas. Por isso, aqui ficam algumas sugestões em forma de novas propostas de trabalho:

- A evolução química das águas é um processo moroso que nem sempre evidencia resultados em curtos espaços de tempo, pelo que, o ideal seria realizar estudos semelhantes em períodos de tempo significativamente maiores;
- Efectuar o cálculo do equilíbrio água/espécie mineral, com vista a perceber se a composição química das águas estudadas tende para o equilíbrio ou se continuará num processo evolutivo;
- Proceder à recolha e análise de lixiviado das áreas em estudo para posterior comparação com a composição das águas;
- Utilizar software's como o SPSS, que através de análise factorial podem estabelecer relações entre os diferentes iões presentes nas águas e as sua origens.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

AFA (2000) – Anuário 2000. Forum Ambiente.

ALVES, C, A.; BRAGA, M. A. S. (1993) – *Sais solúveis em monumentos graníticos de Braga*. IX Semana de Geoquímica / II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 525-530 pp.

APPELO, C, A. J., POSTMA, D. (1994) – *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. AA. Balkema, Rotterdam, 536 pp.

APRH (2004) – Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. www.aprh.pt

BABICH H. & STOTZKY G. (1983). Influence of chemical speciation on the toxicity of heavy metals to the microbiota. *Advances in Environmental Science and Technology* 13, 1-46 pp.

BOULDING, J. R. (1995). *Practical handbook of soil, Vadose zone and groundwater contamination. Assessment, prevention and remediation*. Lewis Publishers.

BREEUWSMA, A., WÖSTEN, J. H. M., VLEESHOUWER, J. J., VAN SLOBBE, A. M., BOUMA, J. (1986). Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 186-190 pp.

CABRAL, J. (1992) – Geomorfologia. Características Gerais do Relevo do Minho Ocidental. In *Carta Geológica de Portugal. Escala 1/200 000. Notícia Explicativa da Folha I*, PEREIRA, E. (coord.), S.G.P. Lisboa, 7-8 pp.

CANTER, L. (1997) – *Nitrates in groundwater*. University of Oklahoma. Lewis Publishers, 263 pp.

CHRISTENSEN T. H. ; KJELDSSEN P., BJERG P. L., JENSEN D. L., CHRISTENSEN J. B., BAUN A., ALBRECHTSEN H.-J., AND HERON G. (2001). Biogeochemistry of leachate plumes. *Applied Geochemistry* 16, 659-718 pp.

CONEGIL – EMPREITEIROS, LDA.; HCL – ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJECTOS, S. A. (1999). *Relatório da empreitada de concepção e construção, recuperação ambiental e selagem da Lixeira de Braga*.

CONEGIL – EMPREITEIROS, LDA.; HCL – ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJECTOS, S. A. (1998). *Relatório da empreitada de concepção e construção, recuperação ambiental e selagem da Lixeira da Póvoa de Lanhoso*.

COSTA, J. B. (1991) – *Caracterização e constituição do solo*. 4ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 527 pp.

COUDÉ-GAUSSSEN, G. (1980) – Les serras orientales du Minho (Portugal): orogenèse, modelé granitique, altérations. *Revue Géographique de Pyrénées et du Sud-Ouest*, 51, 3: 291-313 pp.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983) – *Hidrologia subterranea*. 2ª ed., Ed. Omega, 2 vols., Barcelona, 2359 pp.

DATA GEO – TECNOLOGIAS DE GEOLOGIA E AMBIENTE, LDA. (2000). *Estudo Hidrogeológico e de Estabilidade da Lixeira de Braga*.

DAVIS, S. N. & DEWIESE, R. J. M. (1966) – *Hidrogeology*. John Wiley & Sons, New York.

DEAN, J. A. (1985) – *Lange's Handbook of Chemistry*. 13th ed. McGraw-Hill. Book Co., New York.

Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro do Diário da República n.º 206, I-A Série.

DIAS, G., LETERRIER, J.; MENDES, A.; SIMÕES, P. P. & BERTRAND, J. M. (1998) – *U-Pb zircon and monazite geochronology of post – collisional Hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal)*. Lithos, 45: 349-369 pp.

FATTA, D.; PAPADOPAOULOS, A.; LOIZIDON, M. (1999). “A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area.” Environmental Geochemistry and Health 21: 175-190 pp. Kluwer Academic Publishers.

FERREIRA, A. B. (1983) – Problemas da Evolução Geomorfológica Quaternária do Noroeste de Portugal. *Cuad. Lab. Xeol. de Laxe*, 5: 311-329 pp.

FERREIRA, D. B. (1981) – *Carte Geomorphologique du Portugal*. Colecção Memórias do Centro de Estudos Geográficos, n.º6, Lisboa, 53 pp.

FERREIRA, N.; DIAS, G.; MEIRELES, C.; BRAGA, M. A. S. (2000). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1 / 50 000. Notícia Explicativa da Folha 5 – D (Braga)*. Serviço Geológico de Portugal, Lisboa, 68 pp.

FERREIRA, N.; DIAS, IGLESIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, A.; RIBEIRO, M. L. (1987) – Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu Enquadramento Geodinâmico. In: *Geologia de los granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hespérico*. Libro Homenaje a L. C. Garcia de Figueirola, F. BEA et al. (eds.), Madrid, 37-51 pp.

FETTER, C. W. (1994). *Applied Hydrogeology*. Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, 691 pp.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979) – *Groundwater*. Prentice – Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 604 p.

GOMES, C. A.; LIMA, A.; PAMPLONA, J. (1996) – Relatório geológico – *Caracterização e prospecção geológica da área para instalação do Aterro Sanitário Intermunicipal de Pedralva (ASIP)*. Braga, 31pp.

GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S.; EATON, A. D. (eds.) (1992) – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed., APHA, AWWA, WEF, New York.

HEM, J. D. (1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, *U. S. Geol. Surv. Water – Supply Paper* 1473, 363 pp.

HORTON R. E. (1933) – *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Am. Geophys. Union Trans., v. 14, 446-460 pp.

I.M. (2003) – Instituto de Meteorologia. www.im.pt

JENSEN D. L., LEDIN A., CHRISTENSEN T. H. (1999). Speciation of heavy metals in landfill-leachate polluted groundwater. *Water Research* 33 (11) 2642-2650 pp.

KIEFFER F. (1992). Metals as essential trace elements for plants, animals and humans. *In Metal and their Compounds in the Environment* (ed. E. Merian), pp. 481-489 pp.

LAFUENTE (1981) – *Química del agua*. Bellisco, Madrid, 423 pp.

LENCASTRE, A. & FRANCO, F. M. (1992) – *Lições de Hidrologia*. 2ª ed. Universidade Nova de Lisboa, 453 pp.

LIMA, A. (1994) – *Hidrogeologia de Regiões Graníticas (Braga – NW de Portugal)*. Universidade do Minho, Braga – 202 pp.

LIMA, A. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos (Minho – Noroeste de Portugal)*. Universidade do Minho, Braga – 451pp.

MDQ (2005) – www.mundodoquimico.hpg.com.br

NATURLINK (2005) – www.desafiosdaagua.naturlink.pt/quimica_da_agua.htm

OPPENHEIMER, J.; EATON, A. D. (1986) – Quality Control in Mineral Analysis. *In Proc. Water Quality Technology Conference (Houston, Texas, December 8-11, 1985)*. American Water Works Association, Denver, Colorado, 15-33 pp.

PEREIRA, E. (COORD.) (1989) – *Carta Geológica de Portugal. Folha 1. Escala 1/200 000*. Serviço Geológico de Portugal.

POHLAND F. G. & KIM J. C. (2000). Microbially mediated attenuation potencial of landfill bioreactor systems. *Water Science and Technology* 41 (3), 247-254 pp.

PURVES, D. (1985) – *Trace-element contamination of the environment* – Fundamental aspects of pollution control and environmental science, 243 pp.

QUALLY-SGA (2005) – Qually, Sistemas de Gestão Ambiental
www.geocities.com/sgabsisi/parametros.htm

RAIL, C. (1989) - *Groundwater Contamination. Sources, Control and Preventive Measures*. Tecnomic Publishing CO., Inc.. Lancaster, Pennsylvaning, 139 pp.

RAMSDEN, E. N. (1996), *Chemistry of the Environment*. Stanley Thornes (Publishers) Lda., Oxford, 160 pp.

REIMANN, C.; CARITAT, P. (1998) – *Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environment Scientist*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 398 pp.

RIBEIRO, O.; LAUTENSACH, H.; DAVEAN, S. (1988) – *Geografia de Portugal II – O Ritmo Climático e a Paisagem*. Ed. João Sá da Costa, Lisboa, 335-623 pp.

ROSSUM, J. R. (1975) – Checking the Accuracy of Water Analyses Through the Use of Conductivity. *Journal AWWA*, 67, 204-205 pp.

SOLIMAN, M.; LAMOREAUX, P.; MEMON, B.; ASSAAD, F.; LAMOREAUX, J. (1998) – *Environmental Hydrogeology*. Lewis Publishers, United States of America, 386 pp.

STRAHLER, A. N. & STRAHLER, A. H. (1994) – *Geografía Física*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 550 pp.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A. C. (1973) – *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 5-D (Braga)*. Serviço Geológico de Portugal, Lisboa, 57 pp.

TOOD, DAVID KEITH. (1973) – *Ground Water Hydrology*. 371pp.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Quality Criteria for Water*. Pre-publication copy (1976).

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Water Programs, Guidelines Establishing Test Procedures for Analysis of Pollutants*, Federal Register, 38 (199): 28758 – 28760 pp (Oct. 16, 1973).

ANEXOS



ANEXO I - Registos de campo do ASB

| Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| 09-11-2001 | 14,6 | - | 13,6 | 13,6 | 12,5 | 13,6 | 14,0 | 14,0 | 10,9 | 14,2 | 14,5 |
| 23-11-2001 | 10,5 | 12,2 | 13,5 | 14,1 | 13,0 | 13,9 | 14,1 | 14,0 | 9,7 | 13,8 | - |
| 09-01-2002 | 9,0 | 10,9 | 15,0 | 13,1 | 12,6 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 8,5 | 13,0 | - |
| 29-01-2002 | 8,0 | 11,4 | 13,4 | 13,7 | 13,4 | 13,6 | 13,8 | 13,8 | 11,6 | 13,6 | - |
| 19-02-2002 | 14,3 | 11,2 | 11,2 | - | 12,6 | 13,9 | 13,9 | 13,8 | 10,2 | 13,5 | - |
| 08-03-2002 | 15,0 | 11,6 | 14,7 | 13,8 | 12,1 | 13,9 | 14,1 | 13,9 | - | - | - |
| 02-04-2002 | 12,7 | 12,2 | 13,6 | 14,2 | 13,6 | 13,4 | 13,9 | 13,8 | 16,6 | 13,0 | 14,2 |
| 03-05-2002 | 12,4 | 12,6 | 13,4 | 14,1 | 13,6 | 13,9 | 13,8 | 13,8 | 14,0 | 13,9 | 14,3 |
| 20-05-2002 | 13,0 | - | 14,1 | 13,9 | 13,2 | 13,0 | 14,0 | 14,1 | 13,2 | 13,2 | 14,2 |
| 03-06-2002 | 15,2 | 13,4 | 13,6 | 13,8 | 14,6 | 14,0 | 13,9 | 13,9 | 13,0 | 12,9 | 14,3 |
| 12-06-2002 | 15,9 | - | 15,1 | 14,9 | 15,4 | 15,1 | 15,1 | 14,8 | 14,4 | 13,2 | 15,1 |
| 20-06-2002 | 19,8 | - | 13,7 | 14,1 | 14,7 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 15,7 | 14,0 | 15,0 |
| 01-07-2002 | 20,8 | - | 13,9 | 13,9 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | - | - | 14,4 |

| Condutividade (us/cm) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| 09-11-2001 | 70 | - | 59 | 107 | 41 | 57 | 106 | 70 | 54 | 28 | 444 |
| 23-11-2001 | 85 | 57 | 52 | 124 | 43 | 52 | 69 | 64 | 52 | 29 | - |
| 09-01-2002 | 79 | 61 | 72 | 138 | 113 | 60 | 92 | 65 | 56 | 30 | - |
| 29-01-2002 | 68 | 57 | 74 | 131 | 41 | 62 | 94 | 52 | 91 | 27 | - |
| 19-02-2002 | 72 | 54 | 42 | - | 42 | 53 | 91 | 55 | 78 | 27 | - |
| 08-03-2002 | 86 | 52 | 72 | 150 | 42 | 54 | 81 | 52 | - | - | - |
| 02-04-2002 | 84 | 47 | 79 | 141 | 42 | 51 | 81 | 51 | 27 | 26 | 524 |
| 03-05-2002 | 87 | 50 | 81 | 171 | 41 | 57 | 86 | 49 | 37 | 29 | 579 |
| 20-05-2002 | 83 | - | 78 | 170 | 44 | 64 | 90 | 54 | 45 | 28 | 570 |
| 03-06-2002 | 157 | 55 | 75 | 150 | 49 | 53 | 79 | 49 | 41 | 30 | 731 |
| 12-06-2002 | 136 | - | 74 | 155 | 41 | 55 | 84 | 53 | 46 | 31 | 710 |
| 20-06-2002 | 130 | - | 77 | 148 | 87 | 51 | 75 | 61 | 253 | 29 | 633 |
| 01-07-2002 | 145 | - | 74 | 146 | 80 | 51 | 76 | 89 | - | - | 296 |

| pH | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| 09-11-2001 | 5,44 | - | 5,50 | 5,67 | 5,23 | 5,53 | 5,35 | 4,92 | 7,02 | 5,40 | 5,99 |
| 23-11-2001 | 5,62 | 5,86 | 5,46 | 5,42 | 5,22 | 5,45 | 5,03 | 4,99 | 6,18 | 5,11 | - |
| 09-01-2002 | 5,85 | 6,05 | 6,08 | 5,56 | 6,48 | 5,84 | 5,58 | 5,31 | 6,69 | 5,43 | - |
| 29-01-2002 | 5,65 | 5,94 | 5,96 | 5,61 | 5,40 | 5,80 | 5,54 | 5,13 | 6,82 | 5,18 | - |
| 19-02-2002 | 5,46 | 5,85 | 5,44 | - | 5,35 | 5,83 | 5,50 | 5,17 | 6,83 | 5,29 | - |
| 08-03-2002 | 5,42 | 5,89 | 6,17 | 5,43 | 5,34 | 5,77 | 5,54 | 5,14 | - | - | - |
| 02-04-2002 | 5,44 | 5,95 | 5,54 | 5,56 | 5,22 | 5,72 | 5,41 | 5,11 | 6,85 | 5,16 | 6,56 |
| 03-05-2002 | 5,50 | 5,90 | 5,86 | 5,46 | 5,33 | 5,67 | 5,48 | 5,12 | 6,81 | 5,30 | 6,23 |
| 20-05-2002 | 5,80 | - | 5,49 | 5,50 | 5,40 | 5,70 | 5,53 | 5,15 | 6,85 | 5,24 | 6,30 |
| 03-06-2002 | 5,66 | 5,30 | 5,75 | 5,38 | 5,55 | 5,68 | 5,41 | 5,24 | 6,30 | 5,28 | 6,19 |
| 12-06-2002 | 5,41 | - | 5,40 | 5,53 | 5,30 | 5,70 | 5,48 | 5,10 | 6,42 | 5,22 | 6,24 |
| 20-06-2002 | 5,40 | - | 5,84 | 5,40 | 6,04 | 5,71 | 5,44 | 5,46 | 7,13 | 5,29 | 6,16 |
| 01-07-2002 | 5,29 | - | 5,90 | 5,31 | 6,04 | 5,98 | 5,45 | 5,83 | - | - | 5,88 |

| Eh (mV) | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| 09-11-2001 | 335 | - | 328 | 68 | 290 | 733 | 152 | 470 | 225 | 318 | -92 |
| 23-11-2001 | 308 | 332 | 309 | 198 | 300 | 376 | 305 | 325 | 337 | 397 | - |
| 09-01-2002 | 376 | 340 | 345 | 222 | 328 | 145 | 200 | 291 | 370 | 369 | - |
| 29-01-2002 | 296 | 264 | 348 | 245 | 262 | 283 | 230 | 291 | 390 | 404 | - |
| 19-02-2002 | 345 | 321 | 325 | - | 338 | 273 | 268 | 300 | 301 | 328 | - |
| 08-03-2002 | 270 | 262 | 303 | 205 | 300 | 545 | 215 | 278 | - | - | - |
| 02-04-2002 | 255 | 255 | 253 | 236 | 302 | 511 | 151 | 340 | 225 | 290 | -83 |
| 03-05-2002 | 280 | 262 | 266 | 162 | 286 | 291 | 215 | 280 | 302 | 402 | -9 |
| 20-05-2002 | 300 | - | 301 | 200 | 300 | 297 | 280 | 294 | 295 | 436 | -14 |
| 03-06-2002 | 226 | 300 | 368 | 206 | 355 | 485 | 247 | 348 | 301 | 290 | 15 |
| 12-06-2002 | 304 | - | 340 | 220 | 346 | 501 | 252 | 320 | 310 | 301 | 10 |
| 20-06-2002 | 237 | - | 340 | 186 | 354 | 381 | 205 | 294 | 202 | 264 | 1 |
| 01-07-2002 | 205 | - | 338 | 272 | 344 | 786 | 288 | 225 | - | - | 115 |

| Profundidade do nível freático (m) | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----|----|-------|-------|----|-------|------|------|----|-----|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 |
| 09-11-2001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 23-11-2001 | - | - | - | - | - | 14,58 | 7,39 | 4,10 | - | - | - |
| 09-01-2002 | - | - | - | 8,19 | - | 20,40 | 7,70 | 5,25 | - | - | - |
| 29-01-2002 | - | - | - | 7,90 | - | 14,80 | 6,61 | 3,30 | - | - | - |
| 19-02-2002 | - | - | 8,40 | 7,40 | - | 14,10 | 6,70 | 3,38 | - | - | - |
| 08-03-2002 | - | - | 8,53 | 16,25 | - | 14,15 | 6,74 | 3,52 | - | - | - |
| 02-04-2002 | - | - | 7,54 | 8,20 | - | 14,06 | 6,72 | 3,04 | - | - | 1,39 |
| 03-05-2002 | - | - | 8,60 | 7,30 | - | 14,23 | 7,08 | 4,11 | - | - | 1,63 |
| 20-05-2002 | - | - | 8,20 | 7,12 | - | 14,30 | 6,80 | 3,90 | - | - | 1,56 |
| 03-06-2002 | - | - | 11,34 | 8,30 | - | 14,48 | 7,30 | 5,10 | - | - | 1,70 |
| 12-06-2002 | - | - | 10,05 | 8,11 | - | 14,52 | 6,90 | 4,95 | - | - | 1,64 |
| 20-06-2002 | - | - | 9,33 | 8,90 | - | 14,45 | 7,35 | 5,80 | - | - | 1,55 |
| 01-07-2002 | - | - | 13,90 | 8,40 | - | 14,50 | 7,40 | 7,15 | - | - | 2,55 |

ANEXO II - Resultados analíticos do ASB

| ASB - Resultados da 1ª campanha - 23/11/01 | | | | |
|--|---------------------|-------------------|----------|--------------------------|
| Laboratório de Aguas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor (mg/l Pt/Co) | Turvação (NTU) | pH | Condutividade (µS/cm) |
| P1 | < 1 | 0,12 | 5,65 | 63,9 (17,8°C) |
| P2 | < 1 | 0,21 | 6,48 | 47,8 (17,6°C) |
| P3 | < 1 | 0,50 | 5,82 | 46,1 (17,9°C) |
| P4 | < 1 | 0,26 | 6,04 | 105,7 (18,1°C) |
| P5 | < 1 | 0,38 | 5,48 | 35,7 (18,6°C) |
| P6 | < 1 | 0,13 | 6,32 | 43,2 (18,7°C) |
| P7 | < 1 | 0,21 | 5,37 | 56,8 (17,8°C) |
| P8 | < 1 | 0,16 | 5,29 | 52,8 (17,7°C) |
| P9 | < 1 | 0,55 | 6,28 | 44,4 (17,9°C) |
| P10 | < 1 | 0,10 | 5,45 | 23,5 (18,1°C) |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |

| ASB - Resultados da 1ª campanha - 23/11/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | Cs |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| P1 | 9,82 | 0,75 | 7380 | 906 | 92 | 3830 | 1610 | 19,00 | 4,10 | 5,06 | 1,78 | 821,46 | 17,48 | 1,02 | 0,08 | -0,01 | 0,36 | -0,01 | 0,02 | 15,00 |
| P2 | 1,98 | 0,12 | 5980 | 880 | 37 | 4080 | 6 | 11,00 | 0,06 | 0,54 | 0,64 | 9,54 | 19,24 | 0,49 | 0,05 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | 0,02 | -1,00 |
| P3 | 5,18 | 0,31 | 5910 | 788 | 43 | 6470 | 6 | -5,00 | 0,06 | 2,68 | 417,84 | 444 | 16,69 | 0,08 | 0,04 | -0,01 | 0,13 | -0,01 | 0,01 | -1,00 |
| P4 | 6,50 | 0,42 | 14900 | 1710 | 19 | 8670 | 773 | 1090 | 4,66 | 1,84 | 22,91 | 83,35 | 36,19 | 0,06 | 0,05 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | 0,08 | 514 |
| P5 | 2,67 | 0,18 | 5360 | 604 | 88 | 4240 | 44 | -5,00 | 0,07 | 0,45 | 2,48 | 3,92 | 10,80 | 0,37 | 0,06 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 3,00 |
| P6 | 6,47 | 0,33 | 6900 | 655 | 10 | 8020 | 2 | 7,00 | 0,03 | 0,81 | 7,38 | 27,19 | 10,03 | 0,01 | 0,03 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | -1,00 |
| P7 | 9,80 | 4,86 | 5070 | 985 | 404 | 5020 | 521 | 32,00 | 2,54 | 1,02 | 2,42 | 12,08 | 17,26 | 0,37 | 0,07 | -0,01 | 0,18 | -0,01 | -0,01 | 27,00 |
| P8 | 2,81 | 0,64 | 6100 | 913 | 193 | 4130 | 786 | -5,00 | 2,54 | 1,21 | 3,43 | 7,34 | 18,90 | 0,44 | 0,04 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | 0,02 | 9,00 |
| P9 | -1,00 | -0,10 | 5090 | 831 | 21 | 4010 | 4 | 8,00 | 0,04 | 0,42 | 1,07 | 5,28 | 14,58 | 0,08 | 0,02 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 2,00 |
| P10 | 1,31 | 0,13 | 3530 | 323 | 92 | 3300 | 13 | -5,00 | 0,04 | -0,30 | 0,35 | 3,94 | 5,66 | 0,33 | 0,05 | -0,01 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | -1,00 |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |

ASB - Resultados da 1ª campanha - 23/11/01

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | 403 | 2.960 | 3.29 | 1.99 | 1.99 | 0.56 | 1.87 | 0.12 | -0.01 | 0.47 | -0.20 | 1.20 | 1.89 | 0.05 | -0.2 | 0.47 | -0.001 | -0.1 | 0.19 | 0.091 | 0.368 | 0.130 | |
| P2 | 563 | 2.040 | 3.71 | 2.19 | 2.19 | 0.60 | 1.85 | -0.01 | -0.01 | 0.74 | 0.25 | 33 | 1.97 | -0.01 | -0.2 | 0.05 | -0.001 | -0.1 | 0.02 | 0.026 | 0.127 | 0.052 | |
| P3 | 369 | 1.520 | 5.29 | 3.18 | 3.18 | 0.69 | 1.69 | -0.01 | -0.01 | 0.38 | 0.24 | 14 | 1.57 | -0.01 | -0.2 | 0.08 | -0.001 | -0.1 | 0.33 | 0.007 | 0.032 | 0.010 | |
| P4 | 785 | 3.440 | 7.90 | 4.32 | 4.32 | 0.45 | 1.44 | 0.06 | 0.02 | 1.07 | 0.23 | 280 | 2.40 | -0.01 | -0.2 | 0.20 | -0.001 | -0.1 | 0.19 | 0.003 | 0.013 | -0.002 | |
| P5 | 168 | 711 | 3.70 | 2.10 | 2.10 | 0.52 | 1.62 | -0.01 | -0.01 | 0.62 | 0.27 | 35 | 1.21 | -0.01 | -0.2 | 0.03 | -0.001 | -0.1 | 0.01 | 0.028 | 0.141 | 0.045 | |
| P6 | 348 | 897 | 7.28 | 4.21 | 4.21 | 0.50 | 1.78 | -0.01 | -0.01 | 1.39 | 0.23 | 15 | 1.30 | -0.01 | -0.2 | 0.05 | -0.001 | -0.1 | 0.02 | 0.001 | 0.006 | -0.002 | |
| P7 | 411 | 4.320 | 4.00 | 2.40 | 2.40 | 0.55 | 1.51 | 0.04 | -0.01 | 1.68 | 0.22 | 73 | 3.46 | -0.01 | -0.2 | 0.30 | -0.001 | -0.1 | 0.05 | 0.051 | 0.236 | 0.070 | |
| P8 | 256 | 1.920 | 3.33 | 1.88 | 1.88 | 0.46 | 1.44 | 0.07 | -0.01 | 0.36 | 0.29 | 196 | 2.07 | -0.01 | -0.2 | 0.38 | -0.001 | 0.8 | 0.04 | 0.052 | 0.224 | 0.063 | |
| P9 | 1.080 | 1.580 | 3.33 | 2.10 | 2.10 | 0.56 | 1.67 | -0.01 | -0.01 | 0.31 | -0.20 | 32 | 3.82 | -0.01 | -0.2 | 0.31 | -0.001 | -0.1 | 0.04 | 0.009 | 0.039 | 0.014 | |
| P10 | 117 | 450 | 2.53 | 1.77 | 1.77 | 0.42 | 1.44 | -0.01 | -0.01 | 0.09 | 0.26 | 26 | 0.687 | -0.01 | -0.2 | 0.03 | -0.001 | -0.1 | 0.01 | 0.029 | 0.123 | 0.044 | |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |

ASB - Resultados da 1ª campanha - 23/11/01

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Águas da U.M. | | | | | |
|-----|----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|--|
| | | Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | |
| P1 | 5,1 | 0,324 | 11,9 | 0,126 | 0,061 | 0,013 | 0,037 | 0,008 | 0,067 | 0,011 | -0,002 | -0,2 | 0,245 | 3,4 | 0,01 | 0,001 | 8,41 | 0,10 | 12,48 | 0,52 | 8,19 | 15,20 | |
| P2 | 5,6 | 0,068 | 0,363 | 0,061 | 0,013 | 0,002 | 0,007 | 0,005 | 0,040 | 0,006 | -0,002 | -0,2 | 0,016 | 1,1 | 0,04 | -0,001 | 0,340 | < 0,01 | 5,08 | 0,20 | 8,73 | 6,19 | |
| P3 | 2,0 | 0,027 | 0,113 | 0,013 | 0,002 | 0,002 | 0,007 | -0,001 | 0,007 | 0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,011 | 9,7 | 0,01 | -0,001 | 1,15 | < 0,01 | 12,89 | 0,34 | 13,84 | 15,70 | |
| P4 | 17,8 | 0,010 | 0,082 | 0,007 | 0,001 | 0,008 | 0,003 | -0,001 | 0,009 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,041 | 1,9 | 0,02 | -0,001 | 1,88 | 0,30 | 26,57 | 0,94 | 18,55 | 32,36 | |
| P5 | 3,2 | 0,104 | 0,162 | 0,044 | 0,008 | 0,008 | 0,020 | 0,003 | 0,018 | 0,003 | -0,002 | -0,2 | 0,010 | 1,1 | 0,01 | -0,001 | 0,576 | < 0,01 | 6,73 | 0,38 | 9,07 | 8,20 | |
| P6 | 0,6 | 0,007 | 0,018 | 0,001 | -0,001 | 0,002 | 0,002 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 0,5 | 0,02 | -0,001 | 0,294 | < 0,01 | 12,32 | 0,38 | 17,16 | 15,00 | |
| P7 | 4,0 | 0,141 | 0,880 | 0,055 | 0,011 | 0,033 | 0,004 | 0,004 | 0,040 | 0,005 | -0,002 | -0,2 | 0,072 | 1,4 | 0,02 | 0,014 | 22,0 | 0,08 | 17,57 | 0,81 | 10,74 | 21,40 | |
| P8 | 9,4 | 0,186 | 1,04 | 0,055 | 0,010 | 0,030 | 0,003 | 0,003 | 0,032 | 0,004 | -0,002 | -0,2 | 0,059 | 5,7 | 0,02 | 0,001 | 1,91 | 0,20 | 9,69 | 0,43 | 8,84 | 11,80 | |
| P9 | 5,7 | 0,031 | 0,093 | 0,012 | 0,002 | 0,006 | 0,006 | -0,001 | 0,009 | 0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,013 | 0,8 | 0,02 | 0,005 | 0,116 | < 0,01 | 7,31 | 1,08 | 8,58 | 8,90 | |
| P10 | 2,6 | 0,097 | 0,215 | 0,051 | 0,009 | 0,009 | 0,025 | 0,003 | 0,027 | 0,004 | -0,002 | -0,2 | 0,005 | 1,0 | 0,03 | -0,001 | 0,211 | < 0,01 | 4,13 | 0,38 | 7,06 | 5,03 | |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |

ASB - Resultados da 1ª campanha - 23/11/01

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|
| | | Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | P ₂ O ₅ | F |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| P1 | 0.022 | 0.272 | 0.028 | -0.001 | 0.003 | -0.001 | 0.03 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 9.30 | 1.00 | 4.30 | < 0.01 | 0.01 | < 0.05 | 0.20 |
| P2 | 0.011 | 0.068 | 0.010 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 7.10 | 1.80 | 6.20 | < 0.01 | 0.11 | < 0.05 | 0.08 |
| P3 | 0.002 | 0.013 | 0.002 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 4.30 | 0.70 | 2.30 | < 0.01 | 0.03 | 0.50 | 0.20 |
| P4 | 0.003 | 0.011 | -0.001 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | 0.002 | -0.002 | -0.01 | 15.60 | 0.50 | 0.80 | < 0.01 | 0.02 | < 0.05 | 0.08 |
| P5 | 0.009 | 0.049 | 0.009 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 5.60 | 1.20 | 2.10 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.10 |
| P6 | -0.001 | 0.004 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 5.00 | 0.70 | 1.50 | < 0.01 | < 0.01 | 0.90 | 0.09 |
| P7 | 0.021 | 0.073 | 0.010 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 4.10 | 2.70 | 0.80 | < 0.01 | < 0.01 | 0.20 | 0.80 |
| P8 | 0.014 | 0.065 | 0.011 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 5.70 | 1.80 | 5.40 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.20 |
| P9 | 0.003 | 0.011 | 0.002 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 5.70 | 1.65 | 4.90 | < 0.01 | 0.13 | 1.00 | 0.08 |
| P10 | 0.010 | 0.039 | 0.008 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.002 | -0.01 | 4.00 | 1.00 | 0.60 | < 0.01 | 0.05 | < 0.05 | 0.05 |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |

| ASB - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | |
|--|---------------------|-------------------|----------|--------------------------|
| Laboratório de Águas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor (mg/l Pt/Co) | Turvação (NTU) | pH | Condutividade (µs/cm) |
| P1 | < 1 | 0,10 | 5,62 | 70,5 (18,8°C) |
| P2 | < 1 | 0,18 | 6,10 | 49,4 (18,6°C) |
| P3 | < 1 | 0,35 | 5,44 | 39,0 (18,9°C) |
| P4 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |
| P5 | < 1 | 0,30 | 5,50 | 38,1 (18,8°C) |
| P6 | < 1 | 0,11 | 5,88 | 51,2 (18,5°C) |
| P7 | < 1 | 0,28 | 5,49 | 83,6 (18,8°C) |
| P8 | < 1 | 0,10 | 5,33 | 51,4 (18,7°C) |
| P9 | < 1 | 0,35 | 6,42 | 73,5 (18,9°C) |
| P10 | < 1 | 0,40 | 5,25 | 25,9 (18,9°C) |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |

| ASB - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | I | Cs |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| P1 | 8,00 | 0,80 | 7,940 | 862 | 104 | 4,600 | 1,410 | 3,76 | 2,65 | 8,04 | 18,84 | 17,4 | 1,00 | -0,01 | -0,005 | 0,39 | -0,01 | 0,03 | 20,46 | 0,32 |
| P2 | 1,00 | 0,10 | 6,090 | 719 | 35 | 4,500 | 4,0 | 0,042 | 0,70 | -0,20 | 4,41 | 16,0 | 0,400 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | 0,01 | -1,00 | 0,10 |
| P3 | 1,00 | 0,10 | 5,700 | 520 | 124 | 4,200 | 55,3 | 0,082 | 0,41 | 2,06 | 58,73 | 9,73 | 0,532 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | 0,01 | 3,98 | 0,10 |
| P4 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |
| P5 | 1,00 | 0,10 | 5,490 | 520 | 128 | 4,340 | 53,3 | 0,065 | -0,30 | 0,52 | 2,29 | 9,45 | 0,535 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 3,94 | 0,09 |
| P6 | 6,00 | 0,30 | 7,860 | 646 | 12 | 9,940 | 1,0 | 0,022 | 5,58 | 14,04 | 13,15 | 9,97 | 0,007 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 1,16 | 0,29 |
| P7 | 12,00 | 7,00 | 6,110 | 1,020 | 507 | 6,900 | 543 | 2,51 | 1,06 | 2,06 | 12,86 | 21,7 | 0,252 | 0,04 | -0,005 | 0,25 | -0,01 | -0,01 | 33,77 | 0,65 |
| P8 | 2,00 | 0,60 | 4,870 | 817 | 219 | 4,170 | 352 | 0,823 | 1,36 | 2,78 | 6,75 | 14,6 | 0,795 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | 0,02 | 3,87 | 0,21 |
| P9 | -1,00 | -0,10 | 6,700 | 940 | 22 | 3,290 | 13,6 | 0,049 | 0,36 | 0,37 | 6,01 | 14,6 | 0,071 | 0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 1,90 | 0,11 |
| P10 | 1,00 | 0,10 | 3,290 | 290 | 122 | 3,090 | 17,3 | 0,050 | 0,37 | -0,20 | 2,01 | 4,79 | 0,357 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | -1,00 | 0,03 |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado |

| ASB - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|----------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | 370 | 3.120 | 4.18 | 2.28 | 0.12 | -0.5 | 0.16 | -0.01 | 0.50 | -0.20 | 1.74 | -0.01 | -0.20 | 2.40 | -0.001 | -0.10 | 0.04 | 0.109 | 0.455 | 0.139 | |
| P2 | 500 | 1.900 | 3.79 | 2.12 | -0.5 | -0.5 | 0.02 | -0.01 | 0.39 | -0.20 | 28 | 1.51 | -0.01 | -0.20 | -0.001 | -0.10 | 0.01 | 0.019 | 0.109 | 0.049 | |
| P3 | 211 | 849 | 3.46 | 2.00 | 0.08 | 0.6 | 0.01 | -0.01 | 0.25 | -0.20 | 32 | 1.18 | -0.01 | -0.20 | -0.001 | -0.10 | 0.01 | 0.053 | 0.245 | 0.064 | |
| P4 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| P5 | 182 | 762 | 3.50 | 2.06 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.21 | -0.20 | 33 | 1.16 | -0.01 | -0.20 | 0.01 | -0.001 | -0.10 | 0.047 | 0.205 | 0.062 | |
| P6 | 373 | 1.380 | 8.41 | 5.28 | 0.06 | -0.5 | -0.01 | 0.02 | 2.52 | -0.20 | 8 | 1.30 | -0.01 | -0.20 | 0.03 | -0.001 | 0.01 | 0.001 | 0.004 | -0.002 | |
| P7 | 418 | 6.670 | 5.59 | 3.09 | 0.20 | -0.5 | 0.08 | -0.01 | 1.78 | -0.20 | 73 | 3.42 | -0.01 | -0.20 | 0.22 | -0.001 | 0.07 | 0.050 | 0.219 | 0.070 | |
| P8 | 251 | 2.400 | 3.60 | 1.83 | 0.08 | -0.5 | 0.06 | -0.01 | 0.15 | -0.20 | 172 | 1.24 | -0.01 | -0.20 | 0.16 | -0.001 | 0.02 | 0.095 | 0.380 | 0.093 | |
| P9 | 1.940 | 1.980 | 2.61 | 1.51 | 0.10 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | 0.19 | -0.20 | 35 | 8.35 | -0.01 | -0.20 | -0.01 | -0.001 | 0.02 | 0.008 | 0.033 | 0.010 | |
| P10 | 166 | 290 | 2.58 | 1.39 | 0.07 | -0.5 | 0.01 | -0.01 | 0.03 | -0.20 | 25 | 0.578 | -0.01 | -0.20 | -0.01 | -0.001 | -0.10 | 0.034 | 0.143 | 0.046 | |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| ASB - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | |
| P1 | 4.88 | 0.375 | 12.4 | 0.131 | 0.026 | 0.073 | 0.067 | 0.070 | -0.002 | -0.20 | 0.193 | 0.9 | -0.01 | -0.001 | 9.38 | 0.10 | 12.81 | 0.27 | 9.84 | 15.60 | |
| P2 | 4.56 | 0.062 | 0.147 | 0.045 | 0.010 | 0.032 | 0.022 | 0.004 | -0.002 | -0.20 | 0.014 | 0.1 | -0.01 | -0.001 | 0.291 | < 0.01 | 6.89 | 0.15 | 9.63 | 8.39 | |
| P3 | 3.96 | 0.207 | 0.311 | 0.066 | 0.014 | 0.033 | 0.031 | 0.004 | -0.002 | -0.20 | 0.011 | 0.8 | -0.01 | -0.001 | 0.312 | < 0.01 | 6.58 | 0.39 | 8.99 | 8.01 | |
| P4 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| P5 | 3.36 | 0.194 | 0.285 | 0.066 | 0.012 | 0.031 | 0.022 | 0.002 | -0.002 | -0.20 | 0.009 | 0.5 | -0.01 | -0.001 | 0.250 | < 0.01 | 6.32 | 0.22 | 9.28 | 7.70 | |
| P6 | 0.40 | 0.003 | 0.008 | 0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.002 | -0.20 | -0.005 | 0.3 | -0.01 | -0.001 | 0.502 | < 0.01 | 13.38 | 0.13 | 21.26 | 16.30 | |
| P7 | 3.23 | 0.133 | 0.455 | 0.035 | 0.008 | 0.022 | 0.024 | 0.005 | -0.002 | -0.20 | 0.050 | 1.3 | -0.01 | 0.017 | 29.6 | 0.07 | 26.89 | 0.26 | 14.76 | 32.75 | |
| P8 | 6.83 | 0.432 | 1.75 | 0.087 | 0.017 | 0.040 | 0.036 | 0.005 | -0.002 | -0.20 | 0.028 | 2.4 | -0.01 | 0.001 | 1.37 | 0.20 | 7.67 | 0.36 | 8.92 | 9.34 | |
| P9 | 9.05 | 0.026 | 0.064 | 0.010 | 0.001 | 0.006 | 0.003 | -0.001 | -0.002 | -0.20 | 0.033 | 0.2 | -0.01 | 0.002 | 0.100 | 0.07 | 7.39 | 0.62 | 7.04 | 9.00 | |
| P10 | 2.29 | 0.117 | 0.265 | 0.054 | 0.010 | 0.025 | 0.029 | 0.003 | -0.002 | -0.20 | 0.006 | 0.1 | -0.01 | 0.001 | 0.240 | < 0.01 | 3.65 | 0.17 | 6.61 | 4.45 | |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| ASB - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | P ₂ O ₅ | F | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | |
| P1 | 0.024 | 0.252 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | 0.002 | -0.002 | -0.01 | 8.70 | 1.00 | 4.10 | < 0.01 | 0.01 | < 0.05 | 0.20 | | | | | | |
| P2 | 0.007 | 0.056 | -0.001 | 0.003 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 5.90 | 1.70 | 5.60 | < 0.01 | 0.09 | < 0.05 | 0.20 | | | | | | |
| P3 | 0.013 | 0.071 | -0.001 | 0.004 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 5.30 | 0.60 | 2.40 | < 0.01 | 0.04 | < 0.05 | 0.08 | | | | | | |
| P4 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | | | | | | |
| P5 | 0.011 | 0.063 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 5.20 | 0.60 | 2.40 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.07 | | | | | | |
| P6 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 4.50 | 0.80 | 1.70 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.08 | | | | | | |
| P7 | 0.016 | 0.053 | -0.001 | 0.003 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 4.10 | 2.30 | 7.40 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 1.10 | | | | | | |
| P8 | 0.020 | 0.117 | 0.005 | 0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 4.60 | 0.70 | 7.40 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.20 | | | | | | |
| P9 | 0.004 | 0.011 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 7.70 | 2.80 | 9.50 | < 0.01 | 0.14 | < 0.05 | 0.07 | | | | | | |
| P10 | 0.011 | 0.053 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.001 | -0.01 | 3.50 | 1.00 | 0.80 | < 0.01 | 0.08 | < 0.05 | 0.06 | | | | | | |
| P11 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | | | | | | |

| ASB - Resultados da 3ª campanha - 20/05/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | 558 | 7.150 | 1.34 | 1.00 | 0.18 | 0.59 | 0.14 | 0.02 | 0.23 | 2.72 | 2.72 | -0.01 | -0.20 | 0.64 | -0.001 | -0.10 | 0.24 | 0.058 | 0.238 | 0.087 | |
| P2 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| P3 | 751 | 5.090 | 1.30 | 1.50 | 0.38 | 0.75 | 0.02 | -0.01 | 0.56 | 32 | 1.70 | -0.01 | -0.20 | 0.05 | -0.001 | -0.10 | 0.13 | 0.009 | 0.041 | 0.012 | |
| P4 | 902 | 5.400 | 1.22 | 1.10 | 0.08 | -0.50 | 0.13 | 0.01 | 0.39 | 651 | 3.08 | -0.01 | -0.20 | 0.26 | -0.001 | -0.10 | 0.12 | 0.004 | 0.020 | 0.006 | |
| P5 | 389 | 3.550 | -1.00 | 1.12 | 0.18 | 1.17 | 0.01 | 0.02 | 2.06 | 54 | 1.31 | -0.01 | -0.20 | 0.06 | -0.001 | 0.37 | 0.05 | 0.015 | 0.069 | 0.025 | |
| P6 | 383 | 1.620 | 1.15 | 1.28 | 0.08 | -0.50 | -0.01 | -0.01 | 1.74 | 9 | 1.40 | -0.01 | -0.20 | 0.03 | -0.001 | -0.10 | 0.02 | 0.001 | 0.008 | 0.004 | |
| P7 | 500 | 8.360 | -1.00 | 0.70 | 0.23 | 0.51 | 0.04 | 0.01 | 1.18 | 62 | 4.31 | -0.01 | -0.20 | 0.22 | -0.001 | -0.10 | 0.08 | 0.038 | 0.181 | 0.059 | |
| P8 | 353 | 4.450 | -1.00 | 1.30 | 0.27 | 0.74 | 0.02 | -0.01 | 1.57 | 69 | 2.05 | -0.01 | -0.20 | 0.12 | -0.001 | -0.10 | 0.05 | 0.017 | 0.077 | 0.027 | |
| P9 | 675 | 2.900 | -1.00 | 0.65 | 0.20 | -0.50 | -0.01 | 0.18 | 0.18 | 36 | 2.36 | -0.01 | -0.20 | -0.01 | -0.001 | -0.10 | 0.02 | 0.011 | 0.034 | 0.014 | |
| P10 | 250 | 997 | -1.00 | 0.37 | 0.13 | 0.74 | -0.01 | -0.01 | 0.05 | 29 | 0.580 | -0.01 | -0.20 | -0.01 | -0.001 | -0.10 | 0.03 | 0.016 | 0.074 | 0.034 | |
| P11 | 18.200 | 25.200 | 2.23 | 2.65 | 4.32 | 1.69 | 0.34 | 0.10 | 93.8 | 774 | 25.0 | -0.01 | -0.20 | 0.04 | -0.001 | -0.10 | 0.24 | 0.517 | 2.42 | 0.829 | |

| ASB - Resultados da 3ª campanha - 20/05/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|-------|--------|-------|--------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| P1 | 6.97 | 0.258 | 7.31 | 0.070 | 0.013 | 0.037 | 0.004 | 0.034 | 0.006 | -0.20 | 0.267 | 8.09 | -0.01 | 0.002 | 8.17 | 0.20 | 24.57 | 0.28 | 13.09 | 29.93 |
| P2 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| P3 | 1.81 | 0.031 | 0.115 | 0.012 | -0.001 | 0.004 | -0.001 | 0.004 | -0.002 | -0.20 | 0.013 | 1.96 | 0.02 | -0.001 | 3.28 | < 0.01 | 29.93 | 0.18 | 18.85 | 36.45 |
| P4 | 45.21 | 0.014 | 0.089 | 0.009 | 0.002 | 0.005 | -0.001 | 0.009 | 0.002 | -0.20 | 0.051 | 3.53 | 0.01 | -0.001 | 2.18 | 0.70 | 35.73 | 1.01 | 19.38 | 43.52 |
| P5 | 2.61 | 0.057 | 0.097 | 0.021 | 0.003 | 0.009 | 0.001 | 0.009 | 0.002 | -0.20 | 0.007 | 0.86 | 0.01 | 0.002 | 0.942 | 0.06 | 18.22 | 0.86 | 14.50 | 22.19 |
| P6 | 0.58 | 0.007 | 0.019 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.002 | -0.20 | -0.005 | 0.35 | 0.01 | -0.001 | 0.359 | 0.90 | 18.27 | 0.32 | 21.61 | 22.25 |
| P7 | 3.26 | 0.107 | 0.313 | 0.027 | 0.005 | 0.016 | 0.002 | 0.004 | -0.002 | -0.20 | 0.035 | 1.67 | -0.01 | 0.024 | 22.4 | 0.05 | 31.04 | 0.66 | 11.74 | 37.80 |
| P8 | 4.68 | 0.066 | 0.302 | 0.018 | 0.003 | 0.009 | -0.001 | 0.011 | -0.002 | -0.20 | 0.018 | 1.38 | -0.01 | 0.002 | 3.52 | 0.07 | 16.36 | 0.29 | 15.25 | 19.93 |
| P9 | 5.94 | 0.035 | 0.101 | 0.010 | 0.001 | 0.006 | -0.001 | 0.005 | -0.002 | -0.20 | 0.006 | 0.29 | -0.01 | 0.002 | 0.103 | < 0.01 | 9.44 | 1.02 | 8.34 | 11.50 |
| P10 | 2.75 | 0.059 | 0.126 | 0.024 | 0.004 | 0.012 | 0.002 | 0.017 | -0.002 | -0.20 | -0.005 | 0.24 | 0.01 | -0.001 | 0.154 | < 0.01 | 6.90 | 0.25 | 7.38 | 8.40 |
| P11 | 65.80 | 1.46 | 49.9 | 0.347 | 0.067 | 0.226 | 0.028 | 0.259 | -0.002 | -0.20 | 0.011 | 0.71 | 0.05 | 0.038 | 4.15 | 0.9 | 238 | 5.15 | 19.51 | 289.99 |

| ASB - Resultados da 3ª campanha - 20/05/02 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO42- | NO3- | NO2- | NH4+ | P2O5 | F |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| P1 | 0.014 | 0.140 | 0.013 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.002 | -0.01 | 19.0 | 2.00 | 1.50 | 0.20 | 0.02 | < 0.05 | 0.30 |
| P2 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| P3 | 0.002 | 0.013 | 0.002 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.002 | -0.01 | 4.50 | 1.00 | 5.90 | < 0.01 | 0.02 | 0.40 | 0.10 |
| P4 | 0.009 | 0.012 | 0.002 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.002 | -0.01 | 18.0 | 0.40 | 0.40 | 0.20 | < 0.01 | < 0.05 | 0.07 |
| P5 | 0.003 | 0.028 | 0.003 | -0.002 | -0.001 | 0.02 | -0.002 | -0.01 | 4.60 | 2.90 | 0.10 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.20 |
| P6 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.002 | -0.01 | 13.0 | 0.90 | 1.70 | < 0.01 | 0.02 | < 0.05 | 0.08 |
| P7 | 0.018 | 0.044 | 0.006 | -0.002 | -0.001 | 0.06 | -0.002 | -0.01 | 3.60 | 2.10 | 0.60 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 1.20 |
| P8 | 0.005 | 0.026 | 0.003 | -0.002 | -0.001 | 0.18 | -0.002 | -0.01 | 3.60 | 1.10 | 3.70 | < 0.01 | < 0.01 | 0.80 | 0.40 |
| P9 | 0.003 | 0.016 | 0.002 | -0.002 | -0.001 | 0.05 | -0.002 | -0.01 | 5.20 | 1.50 | < 0.01 | 6.40 | 0.09 | < 0.05 | 0.08 |
| P10 | 0.007 | 0.032 | 0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.02 | -0.002 | -0.01 | 3.70 | 1.10 | 0.30 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.06 |
| P11 | 0.131 | 1.070 | 0.090 | 0.012 | -0.001 | 2.17 | 0.001 | -0.01 | 45.0 | 1.30 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.05 | 0.50 |

ANEXO III - Registos de campo da Lixeira de Braga

| Temperatura (°C) | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 07-12-2001 | 17,7 | 20,3 | 21,5 | 15,0 | 14,5 | 13,3 | 14,9 | 16,1 | 15,8 |
| 04-01-2002 | 15,7 | 16,8 | 18,0 | 14,7 | 14,1 | | 14,6 | 16,1 | 14,7 |
| 21-01-2002 | 16,7 | 17,8 | 19,6 | 14,6 | 13,9 | 12,9 | 14,4 | 16,3 | 13,5 |
| 06-02-2002 | 17,0 | 17,0 | 18,5 | 14,5 | 14,2 | 13,4 | | 16,1 | 14,6 |
| 25-02-2002 | 17,3 | 17,9 | 18,1 | 14,5 | 14,3 | 13,6 | 13,9 | 16,2 | 14,4 |
| 28-03-2002 | 18,2 | 18,2 | 16,3 | 14,6 | 14,5 | 14,3 | 14,3 | 16,8 | 16,1 |
| 03-05-2002 | 17,3 | 17,8 | 17,0 | 14,4 | 14,0 | 13,9 | 13,7 | 16,1 | 14,9 |
| 23-05-2002 | 19,1 | 21,3 | 23,6 | 14,7 | 14,2 | 14,4 | 15,8 | 16,5 | 15,2 |
| 12-06-2002 | 19,6 | 20,4 | 24,2 | 15,1 | 14,9 | 15,1 | 15,4 | 16,0 | 16,0 |
| 20-06-2002 | 19,4 | 20,9 | 23,0 | 15,5 | 15,1 | 16,2 | 15,1 | 16,2 | 15,9 |
| 01-07-2002 | 19,1 | 22,2 | 19,8 | 14,9 | 14,6 | 17,7 | 14,7 | 16,6 | 15,8 |

| Condutividade (us/cm) | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 07-12-2001 | 213 | 5262 | 7670 | 1341 | 833 | 1569 | 140 | 261 | 296 |
| 04-01-2002 | 397 | 4360 | 6190 | 1334 | 817 | | 144 | 253 | 300 |
| 21-01-2002 | 328 | 4890 | 6340 | 1342 | 840 | 1568 | 138 | 252 | 300 |
| 06-02-2002 | 320 | 4840 | 2570 | 1361 | 863 | 1932 | | 267 | 352 |
| 25-02-2002 | 250 | 4130 | 4070 | 1375 | 861 | 1575 | 132 | 276 | 346 |
| 28-03-2002 | 177 | 2920 | 2700 | 1325 | 787 | 1594 | 111 | 286 | 372 |
| 03-05-2002 | 230 | 4110 | 3300 | 1330 | 803 | 1601 | 122 | 283 | 350 |
| 23-05-2002 | 216 | 4750 | 6640 | 1280 | 745 | 1739 | 147 | 279 | 362 |
| 12-06-2002 | 217 | 4840 | 6320 | 1304 | 758 | 1722 | 139 | 261 | 370 |
| 20-06-2002 | 220 | 4890 | 6920 | 1310 | 762 | 1530 | 143 | 254 | 366 |
| 01-07-2002 | 213 | 5060 | 7190 | 1306 | 780 | 1337 | 151 | 233 | 372 |

| pH | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 07-12-2001 | 5,80 | 6,48 | 6,79 | 4,94 | 5,19 | 4,61 | 6,54 | 4,66 | 4,92 |
| 04-01-2002 | 6,02 | 7,21 | 7,00 | 4,93 | 5,17 | | 6,73 | 4,62 | 5,20 |
| 21-01-2002 | 5,61 | 6,64 | 6,61 | 4,95 | 5,16 | 4,54 | 6,62 | 4,65 | 4,81 |
| 06-02-2002 | 5,53 | 6,52 | 6,84 | 4,87 | 5,09 | 4,44 | | 4,55 | 4,71 |
| 25-02-2002 | 5,47 | 6,54 | 6,86 | 4,90 | 5,11 | 4,50 | 6,53 | 4,59 | 4,82 |
| 28-03-2002 | 5,23 | 6,46 | 6,42 | 4,78 | 5,03 | 4,41 | 6,36 | 4,54 | 4,66 |
| 03-05-2002 | 5,51 | 6,59 | 6,52 | 4,83 | 5,10 | 4,48 | 6,41 | 4,55 | 4,80 |
| 23-05-2002 | 5,41 | 6,57 | 7,02 | 4,90 | 5,08 | 4,30 | 6,54 | 4,60 | 4,71 |
| 12-06-2002 | 5,31 | 6,47 | 6,81 | 4,88 | 5,17 | 4,40 | 6,60 | 4,66 | 4,82 |
| 20-06-2002 | 5,40 | 6,60 | 7,01 | 4,70 | 5,11 | 4,47 | 6,53 | 4,59 | 4,76 |
| 01-07-2002 | 5,35 | 6,57 | 6,67 | 4,82 | 5,15 | 4,53 | 6,69 | 4,52 | 4,80 |

| Eh (mV) | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 07-12-2001 | 202 | -28 | -34 | 291 | 305 | 323 | 323 | 340 | 339 |
| 04-01-2002 | 193 | 70 | 16 | 280 | 310 | | 308 | 386 | 314 |
| 21-01-2002 | 158 | 16 | -9 | 284 | 303 | 327 | 297 | 363 | 340 |
| 06-02-2002 | 162 | 28 | 149 | 272 | 275 | 289 | | 317 | 288 |
| 25-02-2002 | 194 | 7 | 110 | 305 | 316 | 332 | 30 | 348 | 319 |
| 28-03-2002 | 236 | 40 | 201 | 299 | 300 | 274 | 284 | 321 | 285 |
| 03-05-2002 | 210 | 32 | 150 | 301 | 310 | 280 | 290 | 330 | 298 |
| 23-05-2002 | 167 | -18 | 2 | 323 | 313 | 343 | 279 | 370 | 310 |
| 12-06-2002 | 120 | -10 | 4 | 299 | 305 | 301 | 298 | 340 | 321 |
| 20-06-2002 | 156 | -38 | -10 | 306 | 311 | 282 | 202 | 313 | 303 |
| 01-07-2002 | 162 | -40 | -54 | 288 | 304 | 257 | 147 | 274 | 286 |

| Profundidade do nível freático (m) | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|------|------|----|----|----|------|-------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 07-12-2001 | 15,08 | 3,08 | 7,25 | - | - | - | - | - | - |
| 04-01-2002 | 15,17 | 3,03 | 7,20 | - | - | - | 6,20 | 11,00 | 3,73 |
| 21-01-2002 | 15,10 | 3,07 | 7,90 | - | - | - | 5,23 | 10,78 | 3,60 |
| 06-02-2002 | 14,40 | 1,55 | 4,91 | - | - | - | 4,16 | 10,60 | 3,10 |
| 25-02-2002 | 14,88 | 1,95 | 4,69 | - | - | - | 4,70 | 10,40 | 3,42 |
| 28-03-2002 | 14,19 | 1,33 | 3,30 | - | - | - | 4,20 | 9,46 | 3,00 |
| 03-05-2002 | 14,10 | 1,50 | 3,90 | - | - | - | 4,23 | 10,00 | 3,10 |
| 23-05-2002 | 15,36 | 2,90 | 4,20 | - | - | - | 5,67 | 10,10 | 3,15 |
| 12-06-2002 | 15,50 | 3,07 | 4,34 | - | - | - | 5,91 | 10,05 | 3,35 |
| 20-06-2002 | 15,57 | 3,10 | 5,15 | - | - | - | 6,00 | 12,10 | 3,51 |
| 01-07-2002 | 15,60 | 3,70 | 7,35 | - | - | - | 6,12 | 15,90 | 3,60 |

ANEXO IV - Resultados analíticos da Lixeira de Braga

| L. Braga - Resultados da 1ª campanha - 07/12/01 | | | | |
|---|--------------|----------|------|---------------|
| Laboratório de Aguas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor | Turvação | pH | Condutividade |
| | (mg/l Pt/Co) | (NTU) | | (µs/cm) |
| P1 | - | - | 5,81 | - |
| P2 | - | - | 7,44 | - |
| P3 | - | - | 7,35 | - |
| P4 | - | - | 5,61 | - |
| P5 | - | - | 5,44 | - |
| P6 | - | - | 4,89 | - |
| P7 | - | - | 7,19 | - |
| P8 | - | - | 4,89 | - |
| P9 | - | - | 5,04 | - |

| Lixeira de Braga - Resultados da 1ª campanha - 07/12/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|------|-------|---------|-------|--------|------|-------|-------|-------|----------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | I | Cs |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| P1 | 27 | 0,4 | 15.000 | 4.950 | 38 | 5.000 | 15.600 | 3.070 | 206 | 12,6 | 19,6 | 73,8 | 63,1 | 0,66 | 0,06 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 155 | 2,186 |
| P2 | 34 | -0,1 | 99999 | 22.200 | 80 | 4.240 | 12.500 | 6.310 | 138 | 39,4 | 4,5 | 11,5 | 212,3 | 0,868 | 9,15 | 0,497 | 2,7 | 0,03 | 0,03 | 1.190 | 34,439 |
| P3 | 21 | -0,1 | 99999 | 42.500 | 86 | 5.950 | 8.810 | 17.000 | 63,8 | 101 | 5,6 | 18,0 | 330,2 | 0,837 | 23,25 | 0,537 | 12,1 | 0,01 | 0,05 | 1.320 | 22,793 |
| P4 | 11 | 1,1 | 99999 | 17.500 | 485 | 4.790 | 20.200 | 55 | 81,8 | 9,0 | 4,6 | 70,0 | 245,7 | 16,990 | 0,11 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 460 | 20,622 |
| P5 | 7 | 0,4 | 99999 | 6.630 | 169 | 2.840 | 9.540 | 9 | 40,2 | 2,7 | 0,5 | 27,7 | 86,1 | 2,661 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 224 | 11,515 |
| P6 | 15 | 3,3 | 99999 | 36.900 | 1.310 | 4.860 | 18.400 | 94 | 94,0 | 17,0 | 9,8 | 88,1 | 322,8 | 154,052 | 0,04 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,02 | 303 | 13,804 |
| P7 | 1 | -0,1 | 7.890 | 1.390 | 7 | 3.090 | 16,4 | 40 | 0,096 | 1,2 | 2,6 | 14,1 | 37,1 | 0,284 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 4 | 0,232 |
| P8 | 8 | 1,5 | 17.700 | 3.250 | 1.040 | 2.510 | 1.210 | 36 | 15,0 | 3,6 | 10,4 | 106 | 28,51 | 14,467 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 14 | 2,029 |
| P9 | 9 | 1,4 | 27.700 | 7.110 | 324 | 3.560 | 1.460 | 27 | 7,65 | 4,5 | 3,2 | 16,3 | 51,07 | 7,87 | 0,04 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 23 | 2,061102 |

| Lixeira de Braga - Resultados da 1ª campanha - 07/12/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------|------------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | | | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | | | | | | | |
| P1 | 2,730 | 3,460 | 4 | 2,9 | 0,35 | 1,1 | 1,41 | 0,01 | 0,2 | 180 | 17,17 | -0,01 | -0,2 | 1,52 | -0,001 | 0,1 | 0,05 | 0,149 | 0,575 | 0,148 | | | | | | | |
| P2 | 9,999 | 16,000 | 5 | 12,7 | 1,74 | 75,0 | 0,92 | 0,34 | 1,3 | 3,580 | 380,04 | -0,01 | -0,2 | 0,11 | -0,001 | 4,3 | 0,53 | 0,185 | 0,808 | 0,306 | | | | | | | |
| P3 | 9,999 | 28,800 | 6 | 13,2 | 2,11 | 158,4 | 0,51 | 0,58 | 213,50 | 6,120 | 415,74 | -0,01 | 0,2 | 0,14 | -0,001 | 4,9 | 1,26 | 0,102 | 0,499 | 0,194 | | | | | | | |
| P4 | 16,400 | 13,400 | 4 | 2,5 | -0,05 | 0,82 | 0,05 | 1,24 | 1,7 | 1,600 | 78,54 | 0,03 | -0,2 | 0,66 | -0,001 | -0,1 | 0,11 | 4,620 | 20,096 | 4,985 | | | | | | | |
| P5 | 13,400 | 4,490 | 3 | 1,5 | -0,05 | 0,52 | 0,03 | 0,42 | 0,5 | 74,5 | 53,62 | -0,01 | -0,2 | 0,32 | -0,001 | -0,1 | 0,06 | 0,914 | 3,613 | 0,771 | | | | | | | |
| P6 | 16,900 | 22,100 | 5 | 3,0 | -0,05 | 1,00 | 0,16 | 1,05 | 3,3 | 2,000 | 58,76 | 0,02 | 0,7 | 0,68 | -0,001 | -0,1 | 0,11 | 37,322 | 162,054 | 45,319 | | | | | | | |
| P7 | 998 | 14,200 | 3 | 1,6 | 0,42 | 1,2 | 0,13 | -0,01 | 0,19 | -0,2 | 30 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 0,090 | 0,389 | 0,102 | | | | | | | |
| P8 | 9,610 | 8,120 | 2 | 1,3 | 0,24 | 0,8 | 0,22 | 0,04 | 0,21 | 0,5 | 17,80 | -0,01 | -0,2 | 0,06 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 7,725 | 30,953 | 8,316 | | | | | | | |
| P9 | 3,390 | 7,540 | 3 | 1,9 | 0,22 | 0,5 | 0,34 | 0,03 | 0,4 | 368 | 12,85 | -0,01 | -0,2 | 0,11 | -0,001 | 0,2 | 0,03 | 1,834 | 8,383 | 2,464 | | | | | | | |
| Lixeira de Braga - Resultados da 1ª campanha - 07/12/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Aguas da U.M. | | | | | | | | | | | |
| Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ | | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | | |
| P1 | 33,8 | 0,634 | 6,9 | 0,089 | 0,016 | 0,006 | 0,056 | 0,008 | -0,002 | -0,2 | 0,899 | 2,5 | -0,01 | 0,002 | 1,44 | 0,40 | 24,63 | - | 10,70 | 30,00 | | | | | | | |
| P2 | 531,8 | 0,560 | 30,496 | 0,182 | 0,031 | 0,016 | 0,181 | 0,037 | 0,003 | -0,2 | 0,038 | 1,5 | -0,01 | 0,117 | 3,821 | 5,80 | 1,294,00 | - | 9,07 | 1576,09 | | | | | | | |
| P3 | 655,5 | 0,292 | 15,313 | 0,154 | 0,030 | 0,022 | 0,277 | 0,070 | -0,002 | -0,2 | 0,063 | 1,6 | 0,02 | 0,058 | 7,39 | 7,82 | 1,900,00 | - | 12,73 | 2314,20 | | | | | | | |
| P4 | 687,9 | 16,500 | 29,998 | 2,166 | 0,411 | 0,153 | 1,277 | 0,200 | 0,025 | -0,2 | 1,681 | 0,4 | -0,01 | 0,002 | 0,06 | 2,86 | 18,31 | - | 10,25 | 22,30 | | | | | | | |
| P5 | 294,6 | 4,641 | 8,451 | 0,310 | 0,063 | 0,024 | 0,199 | 0,032 | 0,006 | -0,2 | 1,092 | 0,1 | -0,01 | -0,001 | 0,016 | <0,01 | 14,58 | - | 6,08 | 17,76 | | | | | | | |
| P6 | 585,0 | 113,815 | 148,500 | 22,239 | 4,033 | 11,877 | 12,091 | 1,891 | 0,035 | -0,2 | 1,524 | 2,4 | -0,01 | 0,003 | 0,125 | <0,01 | - | - | 10,40 | - | | | | | | | |
| P7 | 27,5 | 0,275 | 0,286 | 0,042 | 0,007 | 0,024 | 0,003 | 0,027 | -0,002 | -0,2 | 0,039 | 0,2 | -0,01 | -0,001 | 0,0 | <0,01 | 37,81 | - | 6,61 | 46,05 | | | | | | | |
| P8 | 90,5 | 26,150 | 69,21 | 3,048 | 0,497 | 0,171 | 1,585 | 0,229 | -0,002 | -0,2 | 0,282 | 1,4 | -0,01 | -0,001 | 0,34 | <0,01 | - | - | 5,37 | - | | | | | | | |
| P9 | 86,6 | 5,606 | 12,954 | 1,271 | 0,232 | 0,656 | 0,695 | 0,101 | -0,002 | -0,2 | 0,137 | 2,1 | 0,01 | -0,001 | 0,055 | 0,80 | 2,62 | - | 7,62 | 3,19 | | | | | | | |
| Lixeira de Braga - Resultados da 1ª campanha - 07/12/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | | | | | | |
| Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | F | | | | | | | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 0,035 | 0,201 | 0,018 | -0,002 | 0,08 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 28,00 | 6,78 | 0,59 | <0,01 | - | <0,03 | 0,04 | | | | | | | | | | | | |
| P2 | 0,154 | 0,585 | 0,043 | 0,154 | 0,022 | 0,020 | -0,002 | 0,01 | 675,00 | 39,31 | <0,01 | <0,01 | - | <0,03 | <0,01 | | | | | | | | | | | | |
| P3 | 0,154 | 0,349 | 0,030 | 0,357 | 0,008 | 0,019 | -0,002 | 0,01 | 995,00 | 58,40 | 6,08 | <0,01 | - | <0,03 | <0,01 | | | | | | | | | | | | |
| P4 | 1,242 | 4,559 | 0,527 | 0,046 | 0,005 | 0,002 | -0,002 | -0,01 | 332,00 | 15,06 | 56,80 | <0,01 | - | <0,03 | <0,01 | | | | | | | | | | | | |
| P5 | 0,227 | 0,752 | 0,077 | 0,004 | -0,001 | -0,002 | -0,002 | -0,01 | 182,00 | 13,02 | 63,50 | <0,01 | - | <0,03 | <0,01 | | | | | | | | | | | | |
| P6 | 9,618 | 41,405 | 5,159 | 0,052 | 0,16 | 0,003 | -0,002 | -0,01 | 340,00 | 5,40 | 170,00 | <0,01 | - | <0,03 | 0,28 | | | | | | | | | | | | |
| P7 | 0,027 | 0,089 | 0,009 | -0,002 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 13,93 | 3,18 | 1,21 | <0,01 | - | <0,03 | 0,05 | | | | | | | | | | | | |
| P8 | 1,638 | 6,875 | 0,783 | 0,056 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 37,51 | 1,99 | 66,53 | <0,01 | - | <0,03 | 0,16 | | | | | | | | | | | | |
| P9 | 0,554 | 2,296 | 0,290 | 0,024 | 0,003 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 53,40 | 2,60 | 52,00 | <0,01 | - | <0,03 | 0,09 | | | | | | | | | | | | |

| L. Braga - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | |
|---|--------------|----------|------|---------------|
| Laboratório de Aguas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor | Turvação | pH | Condutividade |
| | (mg/l Pt/Co) | (NTU) | | (µs/cm) |
| P1 | - | - | 5,65 | 228 |
| P2 | - | - | 6,86 | 4120 |
| P3 | - | - | 6,63 | 4460 |
| P4 | - | - | 5,10 | 1353 |
| P5 | - | - | 5,47 | 828 |
| P6 | - | - | 4,46 | 1571 |
| P7 | - | - | 6,64 | 118,6 |
| P8 | - | - | 4,64 | 269 |
| P9 | - | - | 5,23 | 295 |

| Lixeira de Braga - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|------|-----|-------|------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|----------|-------|--------|------|-------|-------|--------|--------|--|--|--|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | I | Cs | | | | |
| ppb | ppb | mg/l | mg/l | ppb | ppb | mg/l | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | | | | |
| P1 | 7 | 0,2 | 15 | 10 | 6,020 | 21 | 3,560 | 172,84 | 14,0 | 10,3 | 44,3 | 60,4 | 0,44 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 187 | 1,742 | | | | |
| P2 | 10 | -0,1 | 323 | 15 | 2,960 | 14,9 | 4,920 | 129,090 | 18,8 | 4,5 | 19,4 | 185,2 | 0,354 | 3,22 | 0,260 | 1,4 | -0,01 | 0,08 | 1,210 | 30,736 | | | | |
| P3 | 1 | -0,1 | 353 | 20 | 1,960 | 9,0 | 309 | 78,940 | 44,6 | 37,5 | 13,8 | 130,44 | 0,466 | 5,43 | 0,200 | 13,0 | -0,01 | 0,07 | 837 | 10,450 | | | | |
| P4 | 3 | 0,3 | 169 | 17 | 3,100 | 19,3 | 86 | 60,467 | 6,9 | 4,4 | 50,0 | 213,77 | 14,777 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,03 | 399 | 19,857 | | | | |
| P5 | 2 | 0,3 | 99 | 9 | 2,460 | 13 | 48 | 43,77 | 3,6 | 2,3 | 29,2 | 100,5 | 5,898 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,05 | 234 | 13,676 | | | | |
| P6 | 4 | 1,3 | 178 | 38 | 3,800 | 19 | 162 | 77,474 | 14,2 | 9,3 | 71,3 | 299,2 | 160,332 | 0,02 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 311 | 15,641 | | | | |
| P7 | -1 | -0,1 | 6 | 8 | 2,270 | 0,0 | 118 | 0,085 | 6,7 | 6,1 | 31,9 | 30,4 | 0,107 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 6 | 0,207 | | | | |
| P8 | 2 | 0,7 | 13 | 791 | 1,940 | 1,1 | 74 | 13,808 | 3,7 | 7,1 | 49,4 | 27,85 | 16,267 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 15 | 2,489 | | | | |
| P9 | 3 | 0,5 | 21,2 | 244 | 2560 | 1,84 | 61 | 6,805 | 5,498 | 17,625 | 29,995 | 52,875 | 7,511591 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,014 | 23,936 | 2,040 | | | | |

| Lixeira de Braga - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|--------|------------------------------|-------------------|----------------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | | | | | | | |
| mg/l | mg/l | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | | | | | | | |
| P1 | 2 | 4 | 2,6 | -0,05 | -0,5 | 3,47 | 0,02 | 2,55 | 0,2 | 164 | 13,83 | -0,01 | -0,2 | 0,08 | -0,001 | -0,1 | 0,04 | 0,133 | 0,492 | | | | | | | |
| P2 | 103 | 14 | 3,9 | -0,05 | 25,0 | 1,32 | 0,26 | 13,19 | -0,2 | 2,800 | 282,94 | -0,01 | -0,2 | 0,03 | 0,003 | 0,9 | 0,34 | 0,090 | 0,425 | | | | | | | |
| P3 | 115 | 33 | 3,7 | 0,67 | 50,8 | 0,28 | 0,14 | 10,35 | -0,2 | 2,800 | 217,16 | -0,01 | -0,2 | 0,15 | 0,003 | 1,9 | 1,37 | 0,137 | 0,646 | | | | | | | |
| P4 | 19,3 | 13,3 | 2,63 | -0,05 | -0,5 | 0,405 | 0,044 | 0,747 | -0,2 | 1310 | 65,06 | -0,01 | -0,2 | 0,60 | -0,001 | -0,1 | 0,105 | 4,466 | 19,810 | | | | | | | |
| P5 | 12 | 4 | 3 | 2,0 | -0,05 | 0,29 | 0,02 | 0,48 | -0,2 | 727 | 58,81 | -0,01 | -0,2 | 0,39 | -0,001 | -0,1 | 0,06 | 2,152 | 8,759 | | | | | | | |
| P6 | 19 | 22 | 3,5 | -0,05 | -0,5 | 0,79 | 0,20 | 1,14 | -0,2 | 1,820 | 53,80 | -0,01 | 0,3 | 0,71 | -0,001 | -0,1 | 0,10 | 40,362 | 177,690 | | | | | | | |
| P7 | 1 | 12 | 3 | 0,50 | 1,4 | 0,03 | -0,01 | 0,11 | -0,2 | 25 | 4,90 | -0,01 | -0,2 | 0,03 | -0,001 | -0,1 | 0,03 | 0,030 | 0,124 | | | | | | | |
| P8 | 8 | 6 | 1,7 | 0,20 | 0,6 | 0,21 | 0,04 | 0,19 | 0,8 | 173 | 17,67 | -0,01 | -0,2 | 0,05 | -0,001 | -0,1 | 0,01 | 9,164 | 37,059 | | | | | | | |
| P9 | 2 | 5 | 2,0 | 0,12 | -0,5 | 0,10 | 0,01 | 0,20 | 0,5 | 422 | 11,03 | -0,01 | -0,2 | 0,09 | -0,001 | -0,1 | 0,01 | 2,201 | 9,802 | | | | | | | |
| Lixeira de Braga - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Aguas da U.M. | | | | | | | | | | |
| Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | | |
| P1 | 29,7 | 0,697 | 4,4 | 0,055 | 0,009 | 0,027 | 0,003 | 0,029 | -0,002 | -0,2 | 0,767 | 5,6 | -0,01 | -0,001 | 0,02 | < 0,01 | 64,56 | - | 12,88 | | | | | | | |
| P2 | 522,2 | 0,287 | 17,655 | 0,083 | 0,018 | 0,060 | 0,011 | 0,126 | 0,003 | -0,2 | 0,027 | 0,9 | -0,01 | 0,028 | 0,193 | 4,32 | 913 | - | 6,33 | | | | | | | |
| P3 | 230,3 | 0,377 | 31,745 | 0,101 | 0,023 | 0,099 | 0,019 | 0,228 | -0,002 | -0,2 | 2,305 | 4,4 | 0,02 | 0,024 | 4,413 | 3,95 | 916 | - | 4,19 | | | | | | | |
| P4 | 686,9 | 16,708 | 30,520 | 2,113 | 0,395 | 1,183 | 0,150 | 1,177 | 0,021 | -0,2 | 1,45 | 0,22 | -0,01 | 0,00 | 0,05 | < 0,01 | 15,45 | - | 6,63 | | | | | | | |
| P5 | 379,5 | 8,929 | 19,336 | 0,851 | 0,157 | 0,465 | 0,061 | 0,459 | 0,005 | -0,2 | 1,175 | 0,5 | -0,01 | -0,001 | 0,031 | < 0,01 | 13,02 | - | 5,26 | | | | | | | |
| P6 | 623,4 | 129,210 | 169,802 | 24,232 | 4,556 | 12,935 | 1,594 | 12,856 | 2,024 | -0,2 | 1,338 | 0,4 | -0,01 | 0,003 | 0,124 | < 0,01 | - | - | 8,13 | | | | | | | |
| P7 | 26,6 | 0,103 | 0,100 | 0,016 | 0,003 | 0,008 | -0,001 | -0,007 | -0,002 | -0,2 | 0,019 | 0,4 | -0,01 | -0,001 | 0,0 | < 0,01 | 33,56 | - | 4,86 | | | | | | | |
| P8 | 97,5 | 31,773 | 84,98 | 3,513 | 0,572 | 1,680 | 0,202 | 1,780 | -0,002 | -0,2 | 0,294 | 1,5 | -0,01 | -0,001 | 0,40 | < 0,01 | - | - | 4,15 | | | | | | | |
| P9 | 94,7 | 6,807 | 17,456 | 1,369 | 0,250 | 0,682 | 0,087 | 0,709 | -0,002 | -0,2 | 0,135 | 2,7 | -0,01 | -0,001 | 0,049 | 1,18 | 3,82 | - | 5,48 | | | | | | | |
| Lixeira de Braga - Resultados da 2ª campanha - 19/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | | | | | |
| Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ | NO ₂ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | F | | | | | | | | | | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | | | | | | |
| P1 | 0,024 | 0,128 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 18,59 | 4,60 | 0,09 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,02 | | | | | | | | | | | |
| P2 | 0,102 | 0,332 | 0,009 | 0,056 | 0,010 | 0,003 | -0,002 | -0,01 | 471 | 36,78 | 3,34 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 | | | | | | | | | | | |
| P3 | 0,071 | 0,554 | 0,019 | 0,077 | 0,003 | 0,004 | -0,002 | -0,01 | 458 | 25,00 | 93,65 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 | | | | | | | | | | | |
| P4 | 1,215 | 4,288 | 0,489 | 0,053 | 0,005 | -0,02 | 0,0022105 | -0,01 | 330 | 14,9 | 55 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,13 | | | | | | | | | | | |
| P5 | 0,491 | 1,804 | 0,191 | 0,016 | 0,002 | 0,002 | -0,002 | -0,01 | 149 | 16,43 | 100 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,10 | | | | | | | | | | | |
| P6 | 10,250 | 42,419 | 5,623 | 0,495 | 0,055 | 0,08 | 0,001 | -0,002 | 339 | 5,44 | 171 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,27 | | | | | | | | | | | |
| P7 | 0,012 | 0,031 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 12,03 | 2,03 | 1,92 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,05 | | | | | | | | | | | |
| P8 | 1,855 | 7,847 | 0,871 | 0,073 | 0,007 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 35,80 | 1,75 | 69,00 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,13 | | | | | | | | | | | |
| P9 | 0,605 | 2,397 | 0,310 | 0,025 | 0,003 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 64 | 1,94 | 48,40 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 | | | | | | | | | | | |

Lixeira de Braga - Resultados da 3ª campanha - 23/05/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|-------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|--------|------|------|--------|---------|--------|--|
| | | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| | | mg/l | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | 2 | 4,910 | 2 | 1,2 | 1,2 | -0,05 | -0,5 | 0,47 | 0,02 | 3,16 | -0,2 | 172 | 14,79 | -0,01 | -0,2 | 0,09 | -0,001 | -0,1 | 0,06 | 0,115 | 0,414 | 0,104 | |
| P2 | 220 | 14800 | 1,84 | 8,01 | 8,01 | -0,05 | 43,28 | 0,46 | 0,23 | 3,98 | -0,20 | 3120 | 379,39 | -0,01 | -0,2 | 0,04 | 0,00 | 2,77 | 0,44 | 0,112 | 0,501 | 0,174 | |
| P3 | 248 | 38,000 | 2 | 7,0 | 7,0 | -0,05 | 124,5 | 0,23 | 0,26 | 21,77 | -0,2 | 4,400 | 373,29 | -0,01 | -0,2 | 0,13 | 0,004 | 4,1 | 1,41 | 0,017 | 0,088 | 0,062 | |
| P4 | 17 | 11,800 | 1 | 1,3 | -0,05 | -0,05 | -0,5 | 0,44 | 0,08 | -0,03 | -0,2 | 1,190 | 61,80 | -0,01 | -0,2 | 0,55 | -0,001 | -0,1 | 0,09 | 3,290 | 14,791 | 4,197 | |
| P5 | 18 | 7,020 | 1 | 0,9 | -0,05 | -0,05 | -0,5 | 0,30 | 0,04 | -0,03 | -0,2 | 640 | 54,41 | -0,01 | -0,2 | 0,35 | -0,001 | -0,1 | 0,05 | 1,636 | 6,628 | 1,845 | |
| P6 | 21 | 28,200 | 2 | 1,9 | -0,05 | -0,05 | -0,5 | 1,90 | 0,53 | -0,03 | -0,2 | 2,030 | 58,78 | -0,01 | -0,2 | 0,68 | -0,001 | -0,1 | 0,11 | 38,190 | 170,234 | 56,926 | |
| P7 | 1 | 16,100 | -1 | 0,9 | 0,58 | 1,6 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,22 | -0,2 | 34 | 6,58 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,03 | 0,088 | 0,418 | 0,117 | |
| P8 | 12 | 8,660 | -1 | 0,7 | 0,22 | 0,7 | 0,46 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,6 | 170 | 17,75 | -0,01 | -0,2 | 0,08 | -0,001 | -0,1 | 0,03 | 6,583 | 26,330 | 8,304 | |
| P9 | 3 | 8,530 | 1 | 1,1 | -0,05 | -0,05 | -0,5 | 0,16 | 0,05 | -0,03 | -0,2 | 508 | 12,31 | -0,01 | -0,2 | 0,08 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 1,782 | 7,665 | 2,604 | |

Lixeira de Braga - Resultados da 3ª campanha - 23/05/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Aguas da U.M. | | | | | | |
|----|--|-------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|--------|------------------------------|-------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|
| | | Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | |
| P1 | | 29,4 | 0,618 | 3,78 | 0,037 | 0,008 | 0,026 | 0,003 | 0,025 | 0,004 | -0,002 | -0,20 | 0,779 | 2,37 | -0,01 | 0,003 | 0,03 | 0,30 | 49,14 | - | 13,16 | 59,85 | |
| P2 | | 532,6 | 0,346 | 19,54 | 0,091 | 0,018 | 0,059 | 0,009 | 0,128 | 0,029 | -0,002 | -0,20 | 0,033 | 0,86 | -0,01 | 0,12 | 0,29 | 5,78 | 1212 | - | 9,61 | 1476 | |
| P3 | | 321,0 | 0,040 | 1,970 | 0,042 | 0,011 | 0,036 | 0,009 | 0,129 | 0,034 | -0,002 | -0,20 | 0,902 | 0,52 | -0,01 | 0,051 | 7,26 | 7,05 | 1.743 | - | 14,85 | 2123 | |
| P4 | | 582,0 | 12,297 | 21,571 | 1,467 | 0,260 | 0,816 | 0,094 | 0,876 | 0,135 | -0,002 | -0,20 | 1,193 | 0,42 | -0,01 | -0,001 | 0,05 | 2,11 | 13,35 | - | 9,93 | 16,26 | |
| P5 | | 302,1 | 7,113 | 14,867 | 0,635 | 0,113 | 0,340 | 0,038 | 0,381 | 0,056 | -0,002 | -0,20 | 0,915 | 0,57 | -0,01 | -0,001 | 0,031 | 1,27 | 4,78 | - | 8,13 | 5,82 | |
| P6 | | 659,4 | 130,929 | 168,804 | 21,991 | 3,838 | 11,184 | 1,289 | 12,400 | 1,893 | -0,002 | -0,20 | 1,290 | 0,52 | -0,01 | -0,001 | 0,135 | 3,06 | - | - | 12,54 | - | |
| P7 | | 27,5 | 0,298 | 0,351 | 0,047 | 0,008 | 0,028 | 0,003 | 0,031 | 0,004 | -0,002 | -0,20 | 0,018 | 0,37 | -0,01 | -0,001 | 0,0 | <0,01 | 36,12 | - | 8,17 | 44,0 | |
| P8 | | 74,6 | 22,455 | 58,685 | 2,363 | 0,368 | 1,087 | 0,128 | 1,285 | 0,175 | -0,002 | -0,20 | 0,230 | 3,65 | -0,01 | -0,001 | 0,37 | 0,24 | - | - | 6,61 | - | |
| P9 | | 78,9 | 5,388 | 13,748 | 1,030 | 0,173 | 0,518 | 0,063 | 0,585 | 0,083 | -0,002 | -0,20 | 0,116 | 1,44 | -0,01 | -0,001 | 0,059 | 0,62 | - | - | 9,13 | - | |

Lixeira de Braga - Resultados da 3ª campanha - 23/05/02

| Laboratório U.M. | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------------------------------|--------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO42- | NO3- | NO2- | NH4+ | PO ₄ ³⁻ | F |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| P1 | 0,026 | 0,120 | 0,010 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 23,95 | 6,06 | 0,27 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,03 |
| P2 | 0,133 | 0,324 | 0,025 | 0,117 | 0,007 | 0,198 | 0,002 | -0,002 | -0,01 | 642 | 33,76 | 7,31 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 |
| P3 | 0,073 | 0,079 | 0,008 | 0,284 | 0,006 | 0,35 | 0,002 | -0,002 | -0,01 | 823 | 35,00 | 5,36 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 |
| P4 | 0,977 | 3,658 | 0,390 | 0,046 | -0,001 | 0,02 | 0,002 | -0,002 | -0,01 | 309 | 18,53 | 65,82 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,19 |
| P5 | 0,430 | 1,636 | 0,171 | 0,018 | -0,001 | -0,02 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 144 | 15,10 | 103 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,08 |
| P6 | 10,953 | 46,588 | 5,497 | 0,685 | 0,060 | 0,30 | 0,003 | -0,002 | -0,01 | 401 | 7,71 | 189 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,28 |
| P7 | 0,027 | 0,109 | 0,011 | 0,003 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 13,87 | 2,50 | 1,20 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,02 |
| P8 | 1,452 | 6,419 | 0,665 | 0,081 | -0,001 | 0,02 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 34,99 | 1,64 | 65,64 | < 0,01 | - | < 0,03 | 0,11 |
| P9 | 0,536 | 2,291 | 0,258 | 0,034 | -0,001 | -0,02 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 66,57 | 4,54 | 44,20 | < 0,01 | - | < 0,03 | < 0,01 |

ANEXO V - Registos de campo da Lixeira da Póvoa de Lanhoso

| Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| 19-09-2001 | 18,4 | 17,2 | 17,1 | 15,4 | 16,9 | 17,8 | 15,4 | 19,1 | 15,2 | 17,8 | - | - |
| 30-11-2001 | 15,0 | 14,7 | 14,6 | 14,9 | 14,6 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 14,3 | 13,2 | 15,6 | - |
| 28-12-2001 | 14,9 | 13,5 | 16,6 | 15,0 | 10,5 | 14,7 | - | 14,6 | 14,1 | 10,1 | - | - |
| 11-01-2002 | 15,0 | 14,2 | 17,8 | - | 12,0 | 14,4 | 13,5 | 13,8 | 14,7 | 13,0 | 12,4 | - |
| 29-01-2002 | - | 14,6 | 15,5 | 15,3 | 14,4 | 14,9 | 14,3 | 14,7 | 14,6 | 13,7 | - | 14,9 |
| 15-02-2002 | 15,2 | 14,4 | 15,3 | 15,2 | 13,2 | 15,2 | 14,0 | - | 13,9 | 13,5 | 12,2 | 14,4 |
| 04-03-2002 | 14,5 | 14,3 | 14,9 | 15,2 | 12,1 | 14,9 | 13,8 | - | 14,3 | 12,6 | - | - |
| 28-03-2002 | 15,2 | 15,6 | 15,9 | 15,7 | 15,3 | 17,4 | 13,8 | 15,8 | 15,9 | 15,7 | 17,1 | 15,6 |
| 03-05-2002 | 14,9 | 14,8 | 15,3 | 15,3 | 14,8 | 15,0 | 14,1 | 14,6 | 14,8 | 13,8 | 13,0 | 14,9 |
| 10-05-2002 | 15,1 | 15,0 | 14,9 | 15,1 | 15,0 | 14,8 | 13,9 | 15,0 | 15,0 | 14,0 | 14,1 | 15,1 |
| 31-05-2002 | 16,1 | 17,5 | 17,1 | 15,6 | 16,1 | 17,5 | 14,0 | 17,3 | 16,6 | 17,4 | 16,0 | 17,1 |
| 12-06-2002 | 16,5 | 16,2 | 17,0 | 15,1 | 16,0 | 17,1 | 15,1 | 17,6 | 17,1 | 17,0 | 16,3 | 17,4 |
| 20-06-2002 | 16,7 | 17,4 | 18,9 | 16,1 | 17,9 | 19,5 | - | 20,3 | 17,8 | 21,7 | 22,9 | 17,2 |
| 01-07-2002 | 16,4 | 17,1 | 18,1 | 15,8 | 17,2 | 18,9 | - | 20,1 | 17,6 | 19,7 | 22,1 | - |

| Condutividade (us/cm) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| 19-09-2001 | 95 | 47 | 707 | 102 | 43 | 38 | 168 | 93 | 69 | 69 | - | - |
| 30-11-2001 | 90 | 48 | 826 | 102 | 44 | 38 | 185 | 81 | 124 | 70 | 96 | - |
| 28-12-2001 | 87 | 51 | 872 | 101 | 44 | 38 | - | 82 | 123 | 68 | - | - |
| 11-01-2002 | 86 | 48 | 886 | - | 43 | 38 | 173 | 92 | 122 | 67 | 69 | - |
| 29-01-2002 | - | 57 | 899 | 101 | 43 | 37 | 190 | 80 | 120 | 57 | - | 672 |
| 15-02-2002 | 82 | 50 | 922 | 101 | 43 | 36 | 182 | - | 125 | 64 | 67 | 729 |
| 04-03-2002 | 85 | 40 | 942 | 100 | 45 | 38 | 192 | - | 126 | 65 | - | - |
| 28-03-2002 | 79 | 37 | 922 | 98 | 45 | 41 | 177 | 79 | 135 | 64 | 60 | 757 |
| 03-05-2002 | 84 | 39 | 930 | 102 | 43 | 39 | 183 | 81 | 127 | 68 | 67 | 740 |
| 10-05-2002 | 86 | 42 | 926 | 101 | 45 | 42 | 190 | 83 | 131 | 65 | 69 | 760 |
| 31-05-2002 | 75 | 54 | 776 | 105 | 43 | 36 | 184 | 86 | 144 | 67 | 71 | 616 |
| 12-06-2002 | 82 | 50 | 802 | 99 | 44 | 41 | 192 | 80 | 129 | 70 | 68 | 756 |
| 20-06-2002 | 70 | 53 | 771 | 101 | 43 | 39 | - | 81 | 127 | 65 | 65 | 740 |
| 01-07-2002 | 74 | 52 | 770 | 102 | 45 | 40 | - | 83 | 130 | 69 | 70 | - |

| pH | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| 19-09-2001 | 5,91 | 5,71 | 5,67 | 6,04 | 5,81 | 5,70 | 5,37 | 6,14 | 5,89 | 6,04 | - | - |
| 30-11-2001 | 5,95 | 5,72 | 5,76 | 6,20 | 5,87 | 5,68 | 5,55 | 6,22 | 6,00 | 6,03 | 5,70 | - |
| 28-12-2001 | 6,33 | 6,26 | 5,81 | 6,49 | 5,99 | 5,92 | - | 6,34 | 6,25 | 6,37 | - | - |
| 11-01-2002 | 6,27 | 6,10 | 5,75 | - | 6,32 | 6,01 | 5,76 | 6,65 | 6,30 | 6,31 | 5,76 | - |
| 29-01-2002 | - | 6,24 | 5,78 | 6,33 | 6,15 | 6,00 | 5,74 | 6,15 | 6,17 | 6,27 | - | 5,78 |
| 15-02-2002 | 6,11 | 5,98 | 5,66 | 6,25 | 5,88 | 5,77 | 5,62 | - | 6,29 | 6,16 | 5,87 | 6,28 |
| 04-03-2002 | 6,12 | 5,80 | 5,81 | 6,24 | 5,92 | 5,92 | 5,66 | - | 6,24 | 6,43 | - | - |
| 28-03-2002 | 5,91 | 5,67 | 5,65 | 6,12 | 5,84 | 5,87 | 5,54 | 6,07 | 6,09 | 6,21 | 5,57 | 6,11 |
| 03-05-2002 | 6,10 | 5,72 | 5,80 | 6,17 | 5,90 | 5,88 | 5,60 | 6,10 | 6,10 | 6,30 | 5,70 | 6,20 |
| 10-05-2002 | 6,20 | 5,90 | 5,67 | 6,20 | 5,87 | 5,70 | 5,71 | 6,13 | 6,20 | 6,26 | 5,81 | 6,14 |
| 31-05-2002 | 5,86 | 5,93 | 5,61 | 6,23 | 5,81 | 5,82 | 5,50 | 6,08 | 6,11 | 6,16 | 5,76 | 5,62 |
| 12-06-2002 | 6,01 | 5,88 | 5,70 | 6,10 | 5,79 | 5,79 | 5,41 | 6,05 | 6,06 | 6,27 | 5,80 | 5,10 |
| 20-06-2002 | 5,89 | 6,03 | 5,62 | 6,27 | 5,91 | 5,93 | - | 6,02 | 6,08 | 6,52 | 5,64 | 6,01 |
| 01-07-2002 | 5,92 | 6,10 | 5,65 | 6,15 | 5,89 | 5,89 | - | 6,10 | 6,12 | 6,21 | 5,70 | - |

| Eh (mV) | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| 19-09-2001 | 332 | 408 | 388 | 386 | 371 | 338 | 97 | 296 | 300 | 311 | - | - |
| 30-11-2001 | 328 | 338 | 335 | 283 | 337 | 353 | 272 | 307 | 311 | 201 | 300 | - |
| 28-12-2001 | 317 | 324 | 321 | 317 | 350 | 347 | - | 327 | 296 | 318 | - | - |
| 11-01-2002 | 310 | 331 | 316 | - | 318 | 291 | 300 | 324 | 332 | 338 | 348 | - |
| 29-01-2002 | - | 333 | 312 | 312 | 349 | 326 | 303 | 326 | 326 | 335 | - | 293 |
| 15-02-2002 | 283 | 285 | 275 | 306 | 269 | 277 | 274 | - | 267 | 272 | 271 | 238 |
| 04-03-2002 | 318 | 321 | 309 | 335 | 307 | 329 | 355 | - | 290 | 283 | - | - |
| 28-03-2002 | 275 | 328 | 219 | 226 | 290 | 286 | 267 | 257 | 263 | 263 | 260 | 219 |
| 03-05-2002 | 302 | 319 | 210 | 300 | 299 | 301 | 266 | 280 | 289 | 290 | 290 | 228 |
| 10-05-2002 | 290 | 323 | 280 | 302 | 302 | 299 | 299 | 300 | 294 | 303 | 283 | 233 |
| 31-05-2002 | 304 | 285 | 337 | 290 | 305 | 301 | 282 | 315 | 298 | 297 | 297 | 334 |
| 12-06-2002 | 298 | 300 | 310 | 272 | 310 | 314 | 266 | 326 | 280 | 304 | 280 | 321 |
| 20-06-2002 | 291 | 293 | 285 | 246 | 290 | 293 | - | 267 | 272 | 269 | 276 | 302 |
| 01-07-2002 | 286 | 284 | 280 | 252 | 289 | 290 | - | 271 | 275 | 302 | 262 | - |

| Profundidade do nível freático (m) | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|----|-------|-------|-------|----|------|----|-------|------|-----|-----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| 19-09-2001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30-11-2001 | - | - | - | 10,46 | - | - | 3,66 | - | - | - | - | - |
| 28-12-2001 | 6,65 | - | - | 10,70 | 13,70 | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-01-2002 | 6,10 | - | 15,40 | - | 13,60 | - | 4,30 | - | 10,90 | 9,10 | - | - |
| 29-01-2002 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 15-02-2002 | 4,09 | - | 15,30 | 10,50 | 13,33 | - | 2,10 | - | 10,83 | 9,20 | - | - |
| 04-03-2002 | 3,08 | - | 14,33 | 10,55 | 13,20 | - | 2,83 | - | 10,85 | 8,82 | - | - |
| 28-03-2002 | 3,30 | - | 14,89 | 10,47 | 12,95 | - | 2,54 | - | 10,23 | 8,81 | - | - |
| 03-05-2002 | 3,24 | - | 14,50 | 10,51 | 13,00 | - | 2,48 | - | 10,14 | 8,10 | - | - |
| 10-05-2002 | 3,10 | - | 14,31 | 10,33 | 12,95 | - | 2,20 | - | 10,05 | 8,00 | - | - |
| 31-05-2002 | 4,30 | - | 11,80 | 10,50 | 13,45 | - | 2,32 | - | 10,86 | 8,63 | - | - |
| 12-06-2002 | 4,20 | - | 12,05 | 10,44 | 13,80 | - | 2,80 | - | 10,78 | 9,02 | - | - |
| 20-06-2002 | 4,98 | - | 12,09 | 10,51 | 13,45 | - | 3,10 | - | 10,82 | 9,10 | - | - |
| 01-07-2002 | 5,10 | - | 13,10 | 10,60 | 13,70 | - | 3,25 | - | 10,89 | 9,12 | - | - |

ANEXO VI - Resultados analíticos da Lixeira da Póvoa de Lanhoso

| L. P. Lanh. - Resultados da 1ª campanha - 30/11/01 | | | | |
|--|---------------------|-------------------|------|--------------------------|
| Laboratório de Águas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor (mg/l Pt/Co) | Turvação (NTU) | pH | Condutividade (µs/cm) |
| P1 | - | - | 6,85 | - |
| P2 | - | - | 5,96 | - |
| P3 | - | - | 6,04 | - |
| P4 | - | - | 6,33 | - |
| P5 | - | - | 6,04 | - |
| P6 | - | - | 6,09 | - |
| P7 | - | - | 5,80 | - |
| P8 | - | - | 6,58 | - |
| P9 | - | - | 6,48 | - |
| P10 | - | - | 6,35 | - |
| P11 | - | - | 6,62 | - |
| P12 | * | * | * | * |

| Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 1ª campanha - 30/11/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|--------|-------|------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | I | Cs |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| P1 | 2,23 | 0,25 | 5,680 | 1,100 | 24,0 | 4,560 | 11,80 | 36,00 | 0,14 | -0,30 | 3,32 | 7,71 | 31,3 | 0,56 | -0,01 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 2,00 | 0,156 |
| P2 | 5,97 | 0,18 | 5,670 | 600 | 10,0 | 6,190 | 3,60 | -5,00 | 0,124 | 0,31 | 6,73 | 13,28 | 9,19 | 0,041 | 0,05 | -0,005 | 1,30 | -0,01 | 0,03 | 1,00 | 0,292 |
| P3 | 4,94 | 1,05 | - | 8,570 | 84,0 | 5,870 | 149,00 | 147,00 | 0,314 | -0,30 | 1,18 | 20,98 | 265,7 | 166,642 | 0,06 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 14,00 | 2,290 |
| P4 | 1,73 | -0,10 | 10,100 | 1,470 | 9,0 | 7,380 | 1,80 | -5,00 | 0,036 | -0,30 | 3,01 | 35,34 | 29,2 | 0,234 | 0,01 | -0,005 | 0,17 | -0,01 | 0,01 | 2,00 | 0,106 |
| P5 | 3,00 | 0,37 | 4,930 | 570 | 21,0 | 5,660 | 5,50 | -5,00 | 0,06 | 0,40 | 12,40 | 29,84 | 10,0 | 0,049 | 0,01 | -0,005 | 0,31 | -0,01 | -0,01 | 1,00 | 0,350 |
| P6 | 1,07 | 0,17 | 4,750 | 430 | 17,0 | 5,320 | 2,70 | -5,00 | 0,021 | 1,00 | 12,75 | 14,13 | 8,3 | 0,047 | 0,02 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 1,00 | 0,084 |
| P7 | 1,47 | 0,27 | 15,800 | 2,740 | 46,0 | 4,540 | 95,70 | 15,00 | 0,207 | -0,30 | 0,98 | 5,48 | 41,2 | 1,463 | 0,32 | -0,005 | -0,10 | -0,01 | -0,01 | 6,00 | 0,298 |
| P8 | 1,70 | 0,11 | 8,730 | 970 | 9,0 | 8,420 | 2,00 | -5,00 | 0,03 | -0,30 | 19,46 | 25,59 | 24,1 | 0,197 | -0,01 | -0,005 | 0,14 | -0,01 | -0,01 | 2,00 | 0,040 |
| P9 | -1,00 | -0,10 | 12,100 | 1,840 | 13,0 | 7,420 | 3,40 | 14,00 | 0,06 | 0,39 | 26,22 | 38,67 | 34,5 | 0,454 | 0,04 | -0,005 | 0,18 | -0,01 | -0,01 | 2,00 | 0,159 |
| P10 | 3,66 | -0,10 | 8,510 | 840 | 4,0 | 8,170 | 1,50 | -5,00 | 0,021 | 0,39 | 41,71 | 33,71 | 23,5 | 0,067 | 0,04 | -0,005 | 0,10 | -0,01 | 0,02 | 1,00 | 0,026 |
| P11 | 2,59 | 1,43 | 6,440 | 1,290 | 14,0 | 7,690 | 35,70 | 19,00 | 0,497 | 1,10 | 11,23 | 55,51 | 34,1 | 0,109 | 0,03 | -0,005 | 0,17 | -0,01 | 0,02 | 7,00 | 1,179 |
| P12 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

* Proprietário da habitação ausente

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 1ª campanha - 30/11/01

[illegible]

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 1ª campanha - 30/11/01

[illegible]

Projeto de Lei nº 1.000, de 2011 (Câmara de Deputados) - Tabela de Legislação

[illegible]

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 2ª campanha - 15/02/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| | | mg/l | mg/l | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | | 0,940 | 5,520 | 4 | 2,5 | 0,45 | 1,1 | 0,03 | -0,01 | 0,10 | -0,2 | 36 | 4,33 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,03 | 0,026 | 0,123 | 0,043 | |
| P2 | | 0,530 | 1,160 | 5 | 3,5 | 0,48 | 1,1 | 0,08 | -0,01 | 1,53 | -0,2 | 19 | 1,88 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,03 | 0,001 | 0,007 | 0,002 | |
| P3 | | 17,900 | 48,900 | 4 | 2,6 | -0,05 | -0,5 | 0,01 | -0,01 | 0,39 | -0,2 | 274 | 26,80 | -0,01 | -0,2 | 0,29 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 0,596 | 4,335 | 2,557 | |
| P4 | | 0,840 | 4,120 | 7,91 | 5,14 | 0,65 | 0,98 | -0,01 | -0,01 | 0,529 | -0,2 | 50 | 1,744 | -0,01 | -0,2 | 0,019 | -0,001 | -0,1 | 0,012 | 0,002 | 0,016 | 0,007 | |
| P5 | | 0,580 | 1,210 | 5 | 3,3 | 0,41 | 0,9 | 0,02 | -0,01 | 0,80 | -0,2 | 18 | 2,11 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 0,002 | 0,008 | 0,003 | |
| P6 | | 0,390 | 0,620 | 4 | 2,9 | 0,40 | 0,8 | 0,02 | -0,01 | 0,26 | -0,2 | 20 | 1,15 | -0,01 | -0,2 | 0,01 | -0,001 | -0,1 | 0,01 | 0,002 | 0,008 | 0,002 | |
| P7 | | 6,500 | 6,680 | 4 | 2,4 | 0,37 | 0,9 | 0,01 | -0,01 | 0,23 | 0,5 | 63 | 14,00 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,05 | 0,082 | 0,408 | 0,140 | |
| P8 | | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| P9 | | 0,970 | 5,990 | 6 | 4,1 | 0,67 | 1,0 | 0,02 | -0,01 | 0,58 | 0,3 | 51 | 3,02 | -0,01 | -0,2 | 0,03 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 0,004 | 0,019 | 0,011 | |
| P10 | | 0,750 | 2,220 | 6 | 4,3 | 0,97 | 0,9 | 0,02 | -0,01 | 0,37 | 0,3 | 60 | 0,94 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | -0,001 | 0,005 | -0,002 | |
| P11 | | 1,090 | 3,790 | 6 | 3,5 | 0,32 | 0,8 | 0,02 | -0,01 | 0,61 | -0,2 | 29 | 4,472 | -0,01 | -0,2 | 0,04 | -0,001 | -0,1 | 0,02 | 0,001 | -0,004 | 0,005 | |
| P12 | | 5,900 | 41,480 | 8,19 | 4,51 | 1,27 | 4,15 | -0,01 | -0,01 | 1,196 | -0,2 | 293 | 14,258 | -0,01 | -0,2 | 0,370 | -0,001 | -0,1 | 0,028 | 0,108 | 0,488 | 0,160 | |

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 2ª campanha - 15/02/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Águas da U.M. | | | | | |
|-----|----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|
| | | Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | |
| P1 | | 13,0 | 0,094 | 0,2 | 0,050 | 0,011 | 0,034 | 0,004 | 0,039 | 0,004 | -0,002 | -0,2 | 0,017 | 0,2 | -0,01 | -0,001 | 0,08 | <0,01 | 17,24 | - | 7,36 | 21,00 | |
| P2 | | 1,8 | 0,008 | 0,015 | 0,004 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | 0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,023 | 0,4 | -0,01 | -0,001 | 3,396 | 0,04 | 9,77 | - | 10,82 | 11,90 | |
| P3 | | 308,4 | 1,279 | 2,079 | 10,243 | 2,356 | 7,096 | 0,914 | 6,490 | 0,932 | -0,002 | -0,2 | 0,378 | 0,2 | -0,01 | -0,001 | 0,095 | <0,01 | 10,26 | - | 6,91 | 12,50 | |
| P4 | | 7,615 | 0,006 | 0,014 | 0,025 | 0,007 | 0,021 | 0,002 | 0,022 | 0,002 | -0,002 | -0,2 | 0,013 | 0,1518999 | -0,01 | -0,001 | 0,085 | 0,18 | 11,08 | - | 12,986 | 13,495 | |
| P5 | | 2,0 | 0,007 | 0,013 | 0,013 | 0,003 | 0,007 | -0,001 | 0,011 | 0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,011 | 0,5 | -0,01 | -0,001 | 1,909 | 0,11 | 9,03 | - | 10,05 | 11,00 | |
| P6 | | 2,1 | 0,005 | 0,011 | 0,011 | 0,002 | 0,008 | -0,001 | 0,006 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,007 | 0,6 | -0,01 | -0,001 | 0,338 | 0,02 | 6,65 | - | 9,67 | 8,10 | |
| P7 | | 35,0 | 0,234 | 0,343 | 0,158 | 0,035 | 0,107 | 0,015 | 0,106 | 0,018 | -0,002 | -0,2 | 0,035 | 0,3 | -0,01 | 0,001 | 0,2 | <0,01 | 9,85 | - | 8,13 | 12,00 | |
| P8 | Avariado | | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | |
| P9 | | 12,6 | 0,015 | 0,026 | 0,022 | 0,007 | 0,019 | 0,003 | 0,022 | 0,003 | -0,002 | -0,2 | 0,020 | 0,4 | -0,01 | -0,001 | 0,064 | <0,01 | 13,88 | - | 13,20 | 16,90 | |
| P10 | | 3,4 | 0,004 | 0,008 | 0,004 | -0,001 | 0,001 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,005 | 0,8 | -0,01 | -0,001 | 0,059 | 0,18 | 17,24 | - | 14,40 | 21,00 | |
| P11 | | 13,7 | 0,006 | 0,014 | 0,004 | 0,001 | 0,005 | -0,001 | 0,004 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,058 | 2,2 | -0,01 | -0,001 | 2,361 | <0,01 | 18,21 | - | 11,62 | 22,18 | |
| P12 | | 70,408 | 0,476 | 0,624 | 0,255 | 0,058 | 0,168 | 0,023 | 0,151 | 0,022 | -0,002 | -0,2 | 0,115 | 3,169 | -0,01 | -0,001 | 1,013 | 0,43 | 8,46 | - | 14,077 | 10,304 | |

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 2ª campanha - 15/02/02

| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|--|--|--|
| | Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | F ⁻ | | | |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | |
| P1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,1 | 1,5 | 8,1 | <0,01 | - | <0,03 | 0,1 | | | |
| P2 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 4,95 | 1,55 | 0,78 | <0,01 | - | 0,03 | 0,20 | | | |
| P3 | 0,803 | 6,088 | 1,445 | 0,221 | 0,029 | 0,05 | 0,007 | -0,002 | -0,01 | 207,10 | 39,60 | 84,60 | <0,01 | - | <0,03 | <0,01 | | | |
| P4 | 0,003 | 0,017 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 14,80 | 0,77 | 10,20 | <0,01 | - | 0,13 | 0,10 | | | |
| P5 | 0,001 | 0,006 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 5,23 | 0,56 | 0,82 | <0,01 | - | 0,04 | 0,12 | | | |
| P6 | 0,001 | 0,008 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 5,46 | 0,40 | 0,45 | <0,01 | - | 0,04 | 0,03 | | | |
| P7 | 0,030 | 0,161 | 0,016 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 30,00 | 5,70 | 17,30 | <0,01 | - | <0,03 | 0,05 | | | |
| P8 | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | Avariado | | | |
| P9 | 0,004 | 0,015 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 15,10 | 1,10 | 22,00 | <0,01 | - | <0,03 | 0,08 | | | |
| P10 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 7,30 | 0,73 | 1,17 | <0,01 | - | 0,12 | 0,07 | | | |
| P11 | 0,002 | 0,003 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | 0,001 | -0,002 | -0,01 | 6,02 | 0,53 | 1,12 | <0,01 | - | 0,06 | 0,08 | | | |
| P12 | 0,043 | 0,214 | 0,027 | 0,004 | -0,001 | -0,02 | 0,007 | -0,002 | -0,01 | 152,40 | 17,70 | 58,00 | <0,01 | - | 0,20 | 0,22 | | | |

| L. P. Lanh. - Resultados da 3ª campanha - 10/05/02 | | | | |
|--|---------------------|-------------------|------|--------------------------|
| Laboratório de Águas da U.M. | | | | |
| Pontos | Cor (mg/l Pt/Co) | Turbacão (NTU) | pH | Condutividade (µs/cm) |
| P1 | - | - | 6,14 | 79,6 |
| P2 | - | - | 5,3 | 52,5 |
| P3 | - | - | 5,3 | 802 |
| P4 | - | - | 5,92 | 103,4 |
| P5 | - | - | 5,29 | 42,10 |
| P6 | - | - | 5,90 | 35,4 |
| P7 | - | - | 5,60 | 141,7 |
| P8 | - | - | 6,13 | 78,2 |
| P9 | - | - | 5,91 | 139,5 |
| P10 | - | - | 6,82 | 65,1 |
| P11 | - | - | 6,03 | 69,8 |
| P12 | - | - | 6,43 | 750 |

| Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 3ª campanha - 10/05/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|--------|--------|-----|--------|------|-----|-------|-------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-----|-------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Te | I | Cs |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| P1 | 2 | 0,2 | 5.800 | 1.070 | 40 | 4.690 | 14 | 15 | 0,1 | 1 | 16 | 44 | 27,0 | 0,485 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 6 | 0,114 |
| P2 | 8,5774 | 0,28029 | 6260 | 630 | 19 | 8480 | 2,9 | 15 | 0,085 | -0,3 | 7,934 | 22,309 | 11,299 | 0,024 | 0,0115 | -0,005 | 1,4755 | -0,01 | -0,01 | 3 | 0,310 |
| P3 | 3,82376 | 0,81395 | - | 7660 | 103 | 6000 | 140 | 11 | 0,202 | 0,492 | 2,136 | 16,219 | 239,14 | 128,8 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 15 | 1,878 |
| P4 | 2 | -0,1 | 11.500 | 1.610 | 14 | 9.060 | 3,5 | 16 | 0,029 | -0,3 | 3 | 19 | 30,6 | 0,312 | -0,01 | -0,005 | 0,1 | -0,01 | -0,01 | 5 | 0,103 |
| P5 | 3 | 0,3 | 5.310 | 560 | 28 | 6.950 | 3 | 6 | 0,0 | -0,3 | 15,4 | 14 | 10,3 | 0,117 | -0,01 | -0,005 | 0,3 | -0,01 | -0,01 | 2 | 0,315 |
| P6 | -1 | 0,1 | 5.240 | 434 | 41 | 6.590 | 6,6 | 8 | 0,054 | -0,3 | 9,4 | 6,6 | 8,6 | 0,089 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 2 | 0,063 |
| P7 | 1 | 0,2 | 14.200 | 2.300 | 60 | 5.050 | 9,2 | 14 | 0,038 | -0,3 | 1,1 | 4,4 | 31,7 | 1,252 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 5 | 0,221 |
| P8 | 1 | 0,1 | 10.000 | 1.060 | 14 | 9.400 | 1 | 7 | 0,04 | 3,0 | 162,6 | 393,2 | 22,0 | 0,113 | -0,01 | -0,005 | 0,1 | -0,01 | -0,01 | 2 | 0,037 |
| P9 | -1 | -0,1 | 14.800 | 2.390 | 14 | 8.640 | 7 | 10 | 0,060 | 0,5 | 32,2 | 55,0 | 40,7 | 0,443 | -0,01 | -0,005 | 0,1 | -0,01 | -0,01 | 3 | 0,138 |
| P10 | 3 | -0,1 | 9.010 | 913 | 11 | 9.760 | 3,4 | 8 | 0,020 | 0,6 | 56,0 | 67,1 | 21,6 | 0,037 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 2 | 0,024 |
| P11 | 1 | 0,8 | 7.580 | 1.210 | 17 | 8.560 | 16,9 | -5 | 0,210 | 7,4 | 82,5 | 158,8 | 19,7 | 0,086 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | -0,01 | 8 | 0,551 |
| P12 | 32 | 0,5 | - | 14.200 | 43 | 11.600 | 14,4 | 19 | 0,441 | 19,0 | 137,9 | 2.630,0 | 287,03 | 1,059 | 0,01 | -0,005 | 0,3 | -0,01 | -0,01 | 7 | 2,314 |

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 3ª campanha - 10/05/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-------|-------|------|-------|--------|------|-------|--------|-------|--------|--|
| | | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Pr | Nd | Sm | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| P1 | 1.060 | 6.730 | -1 | 0.7 | 0.27 | 0.6 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.09 | 0.2 | 39 | 3.80 | -0.01 | -0.2 | 0.04 | -0.001 | -0.1 | 0.03 | 0.025 | 0.116 | 0.046 | |
| P2 | 450 | 2100 | 1.082 | 1.133 | 0.284 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 1.844 | -0.2 | 21 | 1.927 | -0.01 | -0.2 | 0.023 | -0.001 | -0.1 | 0.069 | -0.001 | 0.007 | -0.002 | |
| P3 | 23.100 | 42.800 | 1 | 0.9 | 0.78 | 2.4 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.21 | 2.2 | 314 | 30.68 | -0.01 | -0.2 | 0.31 | -0.001 | -0.1 | 0.02 | 0.988 | 7.915 | 5.606 | |
| P4 | 972 | 5.300 | 2 | 1.5 | 0.65 | 1.3 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.53 | 0.3 | 59 | 2.09 | -0.01 | -0.2 | 0.04 | -0.001 | -0.1 | 0.01 | 0.003 | 0.023 | 0.011 | |
| P5 | 410 | 1.800 | 1 | 1.0 | 0.35 | 0.7 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.82 | -0.2 | 21 | 2.19 | -0.01 | -0.2 | 0.06 | -0.001 | -0.1 | 0.01 | 0.001 | 0.008 | 0.006 | |
| P6 | 387 | 1.080 | -1 | 1.0 | 0.27 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.30 | -0.2 | 21 | 1.12 | -0.01 | -0.2 | 0.01 | -0.001 | -0.1 | -0.01 | 0.002 | 0.012 | 0.003 | |
| P7 | 5.830 | 6.170 | -1 | 0.6 | 0.31 | 0.7 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.10 | -0.2 | 57 | 12.06 | -0.01 | -0.2 | 0.03 | -0.001 | -0.1 | 0.10 | 0.058 | 0.262 | 0.139 | |
| P8 | 898 | 3.740 | 1 | 1.3 | 0.47 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.29 | -0.2 | 42 | 1.33 | -0.01 | -0.2 | 0.16 | -0.001 | -0.1 | 0.03 | 0.001 | 0.010 | 0.004 | |
| P9 | 1.160 | 8.130 | 1 | 1.1 | 0.48 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.42 | -0.2 | 55 | 3.15 | -0.01 | -0.2 | 0.04 | -0.001 | -0.1 | 0.02 | 0.004 | 0.035 | 0.013 | |
| P10 | 867 | 2.810 | 1 | 1.2 | 0.82 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.28 | -0.2 | 63 | 0.96 | -0.01 | -0.2 | 0.02 | -0.001 | -0.1 | 0.02 | -0.001 | 0.006 | -0.002 | |
| P11 | 1.520 | 4.350 | -1 | 0.9 | 0.14 | -0.5 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.40 | -0.2 | 39 | 4.712 | -0.01 | -0.2 | 0.06 | -0.001 | -0.1 | 0.04 | 0.003 | 0.010 | 0.007 | |
| P12 | 3.550 | 66.500 | 2 | 1.5 | 0.60 | 1.6 | -0.01 | -0.01 | 0.03 | 0.6 | 1.6 | 289 | 10.5 | -0.01 | -0.2 | 0.49 | -0.001 | -0.1 | 0.13 | 0.035 | 0.16 | 0.059 | |

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 3ª campanha - 10/05/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório de Aguas da U.M. | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|-------|-------|--------|-------|------------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|--|
| | Ba | La | Ce | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Br | CaCO ³ | O ₂ | SiO ₂ | HCO ₃ ⁻ | | |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | |
| P1 | 11,8 | 0,085 | 0,17 | 0,044 | 0,010 | 0,030 | 0,003 | 0,030 | 0,005 | -0,002 | -0,2 | 0,013 | 0,7 | -0,01 | -0,001 | 0,08 | <0,01 | 12,34 | - | 10,03 | 15,03 | | |
| P2 | 2,015 | 0,006 | 0,016 | 0,002 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,020 | 0,424 | -0,01 | 0,001 | 7,374 | <0,01 | 8,787 | - | 18,141 | 10,703 | | |
| P3 | 315,7 | 1,387 | 1,656 | 11,061 | 2,367 | 6,838 | 0,815 | 6,748 | 0,937 | -0,002 | -0,2 | 0,352 | 0,7 | -0,01 | -0,001 | 0,28 | <0,01 | 5,51 | - | 12,84 | 6,71 | | |
| P4 | 8,0 | 0,007 | 0,013 | 0,027 | 0,005 | 0,016 | 0,002 | 0,017 | 0,003 | -0,002 | -0,2 | 0,012 | 0,3 | -0,01 | -0,001 | 0,10 | <0,01 | 9,95 | - | 19,382 | 12,119 | | |
| P5 | 1,8 | 0,005 | 0,008 | 0,011 | 0,002 | 0,006 | -0,001 | 0,009 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,007 | 1,0 | -0,01 | -0,001 | 2,110 | <0,01 | 7,55 | - | 14,87 | 9,20 | | |
| P6 | 2,6 | 0,008 | 0,017 | 0,008 | 0,001 | 0,005 | -0,001 | 0,004 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,006 | 0,7 | -0,01 | -0,001 | 0,364 | <0,01 | 5,58 | - | 14,10 | 6,80 | | |
| P7 | 26,4 | 0,157 | 0,214 | 0,121 | 0,025 | 0,072 | 0,010 | 0,087 | 0,014 | -0,002 | -0,2 | 0,022 | 0,3 | -0,01 | -0,001 | 0,2 | <0,01 | 5,63 | - | 10,80 | 6,86 | | |
| P8 | 4,2 | 0,004 | 0,010 | 0,008 | 0,002 | 0,006 | -0,001 | 0,012 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,006 | 2,6 | -0,01 | -0,001 | 0,07 | <0,01 | 11,11 | - | 20,11 | 13,53 | | |
| P9 | 13,3 | 0,016 | 0,023 | 0,029 | 0,006 | 0,023 | 0,003 | 0,025 | 0,004 | -0,002 | -0,2 | 0,018 | 0,7 | -0,01 | -0,001 | 0,060 | <0,01 | 11,22 | - | 18,48 | 13,67 | | |
| P10 | 3,2 | 0,003 | 0,008 | 0,002 | -0,001 | 0,001 | -0,001 | 0,003 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 1,1 | -0,01 | -0,001 | 0,068 | <0,01 | 18,50 | - | 20,88 | 22,53 | | |
| P11 | 14,1 | 0,011 | 0,018 | 0,010 | 0,002 | 0,006 | -0,001 | 0,008 | 0,001 | -0,002 | -0,2 | 0,049 | 10,5 | -0,01 | -0,001 | 1,943 | <0,01 | 18,32 | - | 18,31 | 22,31 | | |
| P12 | 26,8 | 0,20 | 0,2 | 0,075 | 0,017 | 0,042 | 0,005 | 0,044 | 0,006 | -0,002 | -0,2 | 0,055 | 5,7 | -0,01 | -0,001 | 2,10 | <0,01 | 15,99 | - | 24,816 | 19,476 | | |

Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados da 3ª campanha - 10/05/02

| | | Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | |
|-----|--------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------------------|--|--|--|--|
| | | Eu | Gd | Tb | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | Cl | SO42- | NO3- | NO2- | NH4+ | P2O5 | F | | | | |
| | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | |
| P1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,0 | 2,0 | 9,5 | <0,01 | - | <0,03 | 0,1 | | | | |
| P2 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | 0,03 | 0,006 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 5,22 | 2,36 | 0,97 | <0,01 | - | 0,08 | 0,27 | | | | |
| P3 | 1,284 | 9,833 | 1,792 | 0,273 | 0,023 | 0,153 | 0,006 | 0,006 | -0,002 | -0,01 | 168 | 35,56 | 68,26 | <0,01 | - | <0,03 | 0,10 | | | | |
| P4 | 0,004 | 0,022 | 0,003 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 16,27 | 0,76 | 12,57 | <0,01 | - | 0,16 | 0,10 | | | | |
| P5 | 0,002 | 0,006 | 0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 5,68 | 0,61 | 1,19 | <0,01 | - | 0,08 | 0,14 | | | | |
| P6 | 0,001 | 0,007 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 5,74 | 0,49 | 0,64 | <0,01 | - | <0,03 | 0,06 | | | | |
| P7 | 0,026 | 0,133 | 0,023 | 0,004 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 24,00 | 5,22 | 16,20 | <0,01 | - | <0,03 | 0,04 | | | | |
| P8 | 0,001 | 0,009 | 0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 11,97 | 0,87 | 6,10 | <0,01 | - | 0,19 | 0,10 | | | | |
| P9 | 0,006 | 0,024 | 0,003 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 16,59 | 1,34 | 29,59 | <0,01 | - | 0,18 | 0,09 | | | | |
| P10 | -0,001 | 0,003 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 7,76 | 0,81 | 1,39 | <0,01 | - | 0,21 | 0,08 | | | | |
| P11 | 0,003 | 0,010 | 0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | 6,68 | 0,53 | 3,06 | <0,01 | - | 0,06 | 0,09 | | | | |
| P12 | 0,013 | 0,078 | 0,011 | -0,002 | -0,001 | 0,06 | 0,008 | 0,008 | -0,002 | -0,01 | 168,90 | 17,07 | 69,51 | <0,01 | - | <0,03 | 0,25 | | | | |

ANEXO VII - Resultados analíticos da Precipitação

| ASB - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|----|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|----|------|-------|----|-------|------|-------|-------|--------|--------|------|--------|--------|-------|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cond | pH | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Te | I | Cs | Ba | La | Ce | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | | |
| uS/cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1ª campanha | 36,1 | 6,08 | -1 | -0,1 | 2.390 | 298 | 19 | 527 | 0,01 | -0,01 | 0,37 | -0,2 | 25 | 1,73 | -0,01 | 19 | 0,035 | 15,6 | 0,016 | 0,119 | -0,002 | -0,001 | 0,07 | ppb | ppb | ppb | |
| 2ª campanha | 47,6 | 4,2 | -1 | -0,1 | 1.370 | 289 | 129 | 81 | 0,03 | -0,01 | 1,21 | -0,2 | 14 | 2,14 | -0,01 | 6 | 0,027 | 10,1 | 0,018 | 0,117 | -0,002 | -0,001 | 0,09 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | |
| 3ª campanha | 31,8 | 5,07 | 2 | - | 2.710 | 559 | 209 | 2 | - | - | - | - | 20 | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

| ASB - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------|----|-----|------|-----|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|--------|-----|-------|--------|-------|------|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Mn | | |
| ppb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1ª campanha | 680 | 1.480 | -1 | 0,4 | 1,45 | 0,8 | 5,19 | 0,023 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,004 | 0,014 | 0,006 | 0,002 | 0,005 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 0,5 | -0,01 | -0,001 | 0,027 | 21,0 | |
| 2ª campanha | 923 | 2.180 | -1 | 0,2 | 1,14 | 0,8 | 9,94 | 0,017 | 0,01 | -0,005 | -0,1 | -0,01 | 0,004 | 0,020 | 0,005 | 0,002 | 0,004 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 0,5 | 0,01 | 0,001 | 0,063 | 4,1 | |
| 3ª campanha | 618 | 9.830 | -1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 156 | - | | |

| ASB - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------|-----|------|------|-------|------|------|--------|------|------|-------|--------|------------------|--------|--------|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|--|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | | | | | | | | |
| Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | CaCO ₃ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | PO ₄ ³⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | | |
| ppb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1ª campanha | 75 | 0,123 | 2,3 | 6,4 | 48,1 | -0,01 | -0,2 | 0,06 | -0,001 | -0,1 | 0,44 | 0,005 | -0,001 | 0,001 | -0,001 | 0,001 | -0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 2ª campanha | 38 | 0,064 | 0,6 | 13,9 | 20,5 | -0,01 | -0,2 | 0,02 | -0,001 | -0,1 | 0,36 | 0,003 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 3ª campanha | -10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |

1ª campanha - 29/03/01

2ª campanha - 20/05/02

3ª campanha - 12/06/02

| Lixeira de Braga - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-----|------|-------|-------|------|-------|--------|--------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------|--|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cond | pH | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Te | I | Cs | Ba | La | Ce | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt | | |
| uS/cm | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| 1ª campanha | 29,8 | 4,37 | -1 | -0,1 | 2.610 | 371 | 28 | -50 | -0,01 | -0,01 | 0,16 | -0,2 | 32 | 1,60 | -0,01 | 4 | 0,041 | 60,5 | 0,028 | 0,060 | -0,002 | -0,001 | 0,03 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | |
| 2ªcampanha | 24,4 | 4,43 | -1 | -0,1 | 2.320 | 305 | 33 | -50 | -0,01 | -0,01 | 0,11 | -0,2 | 17 | 0,53 | -0,01 | 4 | 0,015 | 13,3 | 0,032 | 0,090 | -0,002 | -0,001 | -0,02 | -0,001 | -0,002 | -0,01 | |
| 3ª campanha | 39,7 | 5,24 | -1 | - | 1.810 | 791 | 13 | 387 | - | - | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Lixeira de Braga - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Mn | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | |
| 1ª campanha | 457 | 701 | -1 | 0,4 | 1,60 | 1,0 | 3,93 | 0,031 | -0,01 | -0,005 | -0,1 | 0,008 | 0,032 | 0,009 | 0,012 | 0,011 | -0,001 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 1,4 | 0,02 | -0,001 | 0,026 | 10,7 | | |
| 2ªcampanha | 275 | 628 | -1 | 0,1 | 1,58 | 1,3 | 2,83 | 0,040 | 0,06 | -0,005 | -0,1 | 0,012 | 0,054 | 0,024 | 0,006 | 0,014 | 0,002 | -0,002 | -0,2 | -0,005 | 1,0 | -0,01 | -0,001 | 0,009 | 8,2 | | |
| 3ª campanha | 3 | 6,610 | -1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| Lixeira de Braga - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | | | | |
| Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | CaCO ₃ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | PO ₄ ³⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | | |
| ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | |
| 1ª campanha | 30 | 0,127 | 1,7 | 2,3 | 68,8 | -0,01 | -0,2 | 0,11 | -0,001 | -0,1 | 0,68 | 0,004 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | 0,002 | -0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2ªcampanha | 31 | 0,096 | 1,4 | 3,2 | 22,9 | -0,01 | -0,2 | 0,04 | -0,001 | -0,1 | 0,26 | 0,006 | -0,001 | 0,003 | -0,001 | 0,004 | -0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 3ª campanha | -10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

1ª campanha - 29/03/01

2ª campanha - 20/05/02

3ª campanha - 12/06/02

| Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cond | pH | Li | Be | Na | Mg | Al | Si | Ga | Ge | As | Se | Br | Rb | Te | I | Cs | Ba | La | Ce | Hf | Ta | W | Re | Os | Pt |
| | uS/cm | | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| 1ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2ªcampanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3ª campanha | 69 | 4,39 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

| Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ru | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Th | U | Mn |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb |
| 1ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

| Lixeira da Póvoa de Lanhoso - Resultados Analíticos da Precipitação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|------|
| Activation Laboratories | | | | | | | | | | | | | | | | | | Laboratório U.M. | | | | | | | | | |
| | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | CaCO ₃ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | PO ₄ ³⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | |
| | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | ppb | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| 1ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3ª campanha | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6,84 | < 0,01 | 16,84 | < 0,03 | < 0,01 | 0,08 | 6,84 | - | - |

1ª campanha - 29/03/01

2ª campanha - 20/05/02

3ª campanha - 12/06/02